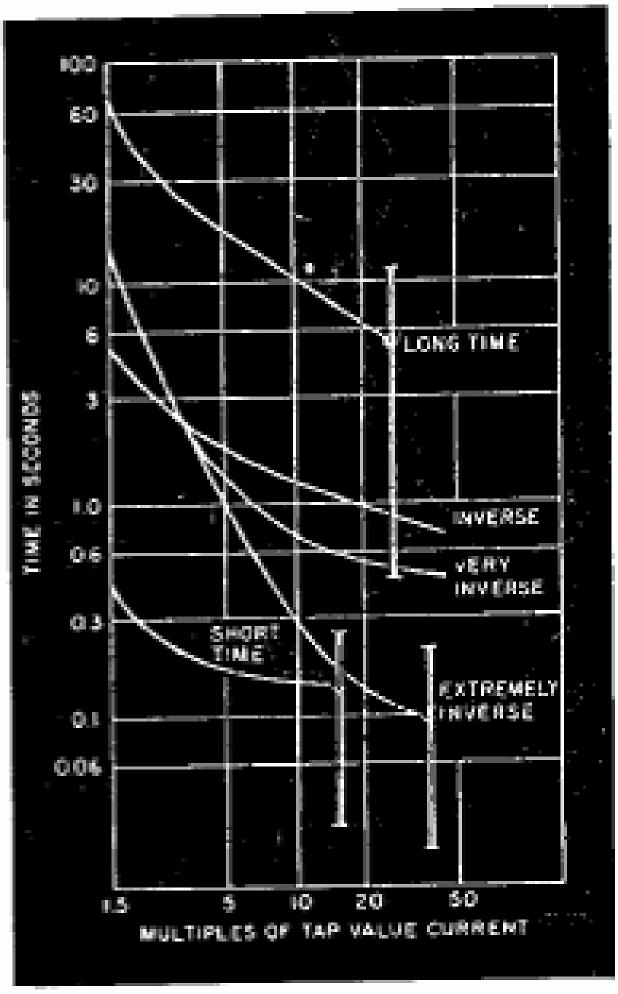
مجموعة كتب
الأسس العلمية والخبرة العملية في الهندسة الكهربية

الكتاب الخامس

الحماية والتنسيق

في المنشآت الصناعية والتجارية



د. عبد المنعم موسى
كلية الهندسة
جامعة الإسكندرية

دار الراتب الجامعية
DAR EL-RATEB AL-JAMIAH

الناشر:

دار الراتب الجامعية: بيروت/لبنان
سلاسل سوفنير

١٩٩٤

ص.ب ١٩/٥٢٢٩ بيروت ـ لبنان
تلكس: Rateb - LE 43917
تلفون: 317169 - 313923 - 862480

اهـــداء

إلى كل مهندس في وطننا العربي

يرنو إلى غدٍ أفضل

مقدمة

عندما بدأت في اختيار مادة هذا الكتاب وضعت أمامي هدفاً محدداً، وهو أن يكون كتاباً ذا فائدة عملية تطبيقية بحيث يمكن للمهندس أن يستعين به بطريقة يسيرة ومباشرة. وحددت مجال الكتاب في شبكات التوزيع الكهربية داخل المنشآت الصناعية والتجارية. ولقد راعيت خلال وضع مادة الكتاب عدم الخروج عن إطار الهدف المطلوب. وسوف يلاحظ القارىء هذا بوضوح عند استعراضه لمادة الكتاب الذي بين يديه.

لا يخفى علينا أن موضوع الحماية من الموضوعات المعقدة نسبياً نظراً لتداخل العوامل المحددة لطريقة الحماية بالإضافة إلى التباين الكبير بين تلك العوامل وتعارض بعضها مع بعض. من هنا تظهر الصعوبة الشديدة التي يواجهها من يتحمل عبء وضع مادة كتاب في الحماية، بل إن هذه الصعوبة تواجه من يقرأ هذا الكتاب فيما بعد. من هذا المنطلق وضعت تلك الحقائق موضع الاعتبار وكان اختياري ـ بتوفيق ومشيئة الله سبحانه وتعالى ـ موضوع الحماية في الشبكات الصناعية والتجارية، مع عدم الخروج عن هذا الموضوع حتى لا يضيع القارىء في متاهات شتى وحتى لا يتضخم حجم الكتاب ويتحول في النهاية إلى كتاب يوضع على الأرفف يقوم بتجميع الأتربة.

ولما كان موضوع قصر الدائرة هو حجر الأساس في تصميم أي منظومة حماية فقد راعيت أن أفرد له باباً كاملاً في الكتاب حتى يستوفي حقه تماماً.

ولقد أفردت باباً مستقلاً لكل جهاز من الأجهزة الرئيسية المستخدمة وهي المصهرات وقواطع دائرة الجهد المنخفض والمرحلات. كما سيجد القارىء فكرة طيبة عن قواطع الدائرة والمرحلات الساكنة والإلكترونية.

ولما كانت المحولات هي أكثر الآلات استخداماً في المنظومات الصناعية فقد رأيت أن أفرد لها باباً مستقلاً عن طرق حمايتها.

وأخيراً فقد بذلت قصارى جهدي لتقديم موضوع التنسيق بين أجهزة الحماية بصورة واضحة ودقيقة.

يحتوي الكتاب على عدد كبير من الأمثلة العددية المحلولة بتفصيل تام بغرض توضيح الفكرة المعروضة.

كما يحتوي الكتاب أيضاً على كمية هائلة من الجداول والمنحنيات والبيانات التي لا غنى للمهندس عنها في مجال الحماية. وهذه البيانات ذات فائدة كبيرة وخاصة عند عدم توفرها على أجهزة الشبكة تحت الدراسة حيث يمكن الاستعانة بها حينئذ.

ويحتوي الكتاب أيضاً على بعض الملاحق ذات الارتباط الوثيق بالمادة المعروضة بداخله.

أرجو من الله سبحانه وتعالى أن يجعل هذا الكتاب ذا فائدة لكل من استعمله.

لا يفوتني في هذا المقام توجيه الشكر للأخ العزيز مدير دار الراتب الجامعية على مجهوده الكبير في إصدار هذا الكتاب على تلك الصورة الطيبة.

د. عبد المنعم موسى
بيروت ١٩٩٤

الفهـــرس

الباب الأول

أساسيات هندسة الحماية

١ - التمهيد:

يجب أن يتضمن التصميم الكهربي السليم لأي منشأة صناعية دراسة حالتين مختلفتين تماماً من حالات الأداء هما حالة التشغيل العادي وحالة حدوث الخطأ حيث أن أي شبكة كهربية تكون دائماً معرضة لحدوث خطأ ما في أي نقطة على الشبكة.

يُقصد بحالة التشغيل العادي الحالة التي تكون عليها الشبكة بحيث يعمل كل جهاز وكل آلة فيها بالطريقة المحددة للجهاز أو الآلة تماماً. أما إذا حدث أي شيء أدى إلى حدوث خلل في أداء الشبكة فإن الشبكة تدخل حالة الخطأ Faulted Condition.

لا يمكن لأي شبكة كهربية أو أي جهاز أن يعمل دون حماية مناسبة له من حالة الخطأ، ويعتبر تصميم نظام الحماية Protection System السليم والمناسب لأي شبكة أو منظومة قوى Power System أمراً حيوياً لضمان سلامة هذه الشبكة من الأضرار التي تنشأ عن حدوث أخطاء وكذلك سلامة الأفراد العاملين على الشبكة. إن أهم حالات الطوارىء أو الخطأ التي يمكن أن تتعرض لها الشبكة هي ما يأتي:

١ ـ قصر الدائرة بأنواعه المختلفة.
٢ ـ ارتفاع الجهد الناشيء عن حالات التشغيل أو بسبب المصادر الخارجية كالصواعق البرقية مثلاً.
٣ ـ التحميل الزائد Overloading.
٤ ـ التشغيل غير المتماثل.
٥ ـ التشويه Distortion في موجات الجهد والتيار.

يتطلب تصميم منظومة الحماية السليم خبرة واسعة من المهندس، كما أن ضبط وتشغيل تلك المنظومة يحتاج إلى مستوى عالٍ من الفهم لهندسة الحماية بالإضافة إلى معرفة خواص أداء الشبكة المراد حمايتها. ونود أن نذكر من البداية أنه لا توجد طريقة واحدة أو خبرة محددة يمكن اتباعها أو الاعتماد عليها في جميع الحالات، وإنما يمكن القول بأنه توجد مبادىء وأهداف عامة يجب أن تحققها منظومة الحماية. أهم هذه الأهداف هي ما يأتي:

١ ـ منع أي ضرر أو أذى يقع على الأفراد العاملين نتيجة لحدوث الخطأ على الشبكة.
٢ ـ منع ـ أو تقليل ـ تلف أي جهاز في الشبكة.
٣ ـ فصل التغذية عن أقل جزء ممكن من الشبكة حالة حدوث الخطأ.
٤ ـ خفض تأثير الخطأ الواقع في جزء معين من الشبكة على باقي أجزاء هذه الشبكة.
٥ ـ خفض تأثير الخطأ الواقع في الشبكة على شبكة التغذية Utility System.

أما المبادىء العامة الواجب مراعاتها فهي ما يأتي:

١ ـ يجب اعتبار تصميم منظومة الحماية في المراحل الأولى من تصميم الشبكة الرئيسية وعدم تأخير ذلك إلى ما بعد تصميم تلك الشبكة وتركيبها، حيث يؤدي هذا غالباً إلى الاضطرار إلى اللجوء لبعض التصميمات غير المناسبة أو الرديئة لمنظومة الحماية وربما تحمل تكاليف مالية أكبر.

٢ ـ يجب أن تكون منظومة الحماية بسيطة في تصميمها وتشغيلها بقدر الإمكان. كما يجب عدم الإفراط في الحماية دون سبب. إن هذا يؤدي إلى

تعقيد المنظومة وصعوبة ضبطها وتشغيلها، هذا بالإضافة إلى ارتفاع التكاليف دون ضرورة.

تتضمن عملية تصميم منظومة الحماية ما يأتي:

١ ـ وضع الخطة العامة للحماية، وهو ما يعرف باسم فلسفة الحماية.

٢ ـ اختيار الأجهزة اللازمة لبناء منظومة الحماية.

٣ ـ عمل الدراسات اللازمة لضبط تلك الأجهزة وتشغيلها والتنسيق بينها بحيث تحقق الهدف من فلسفة الحماية تماماً.

يشتمل تصميم منظومة الحماية المتكاملة على نوعين من الحماية:

١ ـ الحماية الأساسية Basic protection، وهي تلك الحماية المسئولة عن حماية الشبكة بصورة متكاملة.

٢ ـ الحماية الخاصة، وهي بعض أنواع الحماية اللازمة لأجهزة أو آلات معينة في الشبكة، وذلك يختلف بحسب متطلبات الحماية لكل جهاز. من أنواع الحماية الخاصة ما يأتي:

i ـ حماية المولدات.

ii ـ حماية المحولات.

iii ـ حماية المحركات.

iv ـ حماية الكابلات والموصلات.

v ـ حماية قضبان التوزيع Busbars ولوحات التوزيع.

vi ـ حماية الأجهزة الإلكترونية الساكنة Solid-state devices كالمقومات. وغيرها.

ويراعى في جميع الحالات أن تعمل الحماية الخاصة بتنسيق كامل مع الحماية الأساسية وبخطة حماية محددة مسبقاً بحيث يتحقق هدف فلسفة الحماية تماماً.

١ ـ ٢ المصطلحات الأساسية:

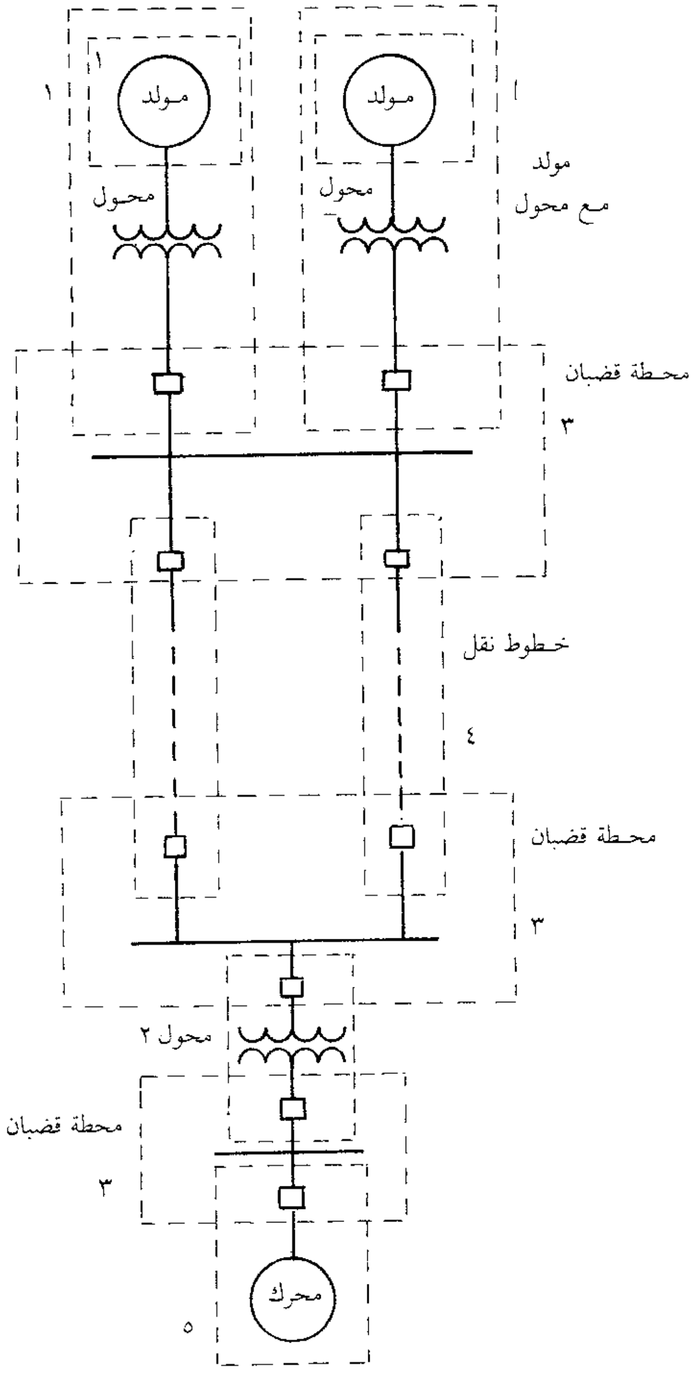
يتفق مهندسو الحماية على بعض المصطلحات الأساسية المستعملة في تصميم وتشغيل المنظومة. ونقدم فيما يلي أهم هذه المصطلحات.

١ ـ ٢ ـ ١ مناطق الحماية Protection zones:

من الأمور الواجب مراعاتها جيداً في تصميم منظومة الحماية هو عدم ترك أي نقطة في الشبكة بدون حماية. ولتحقيق هذا الغرض يتم تقسيم الشبكة إلى مناطق متداخلة تسمى كل منطقة منها منطقة حماية بحيث يمكن حماية كل منطقة بطريقة مناسبة. يتم تقسيم الشبكة عادة إلى مناطق الحماية الآتية:

١ ـ منطقة المولد، أو المولد مع المحول.
٢ ـ منطقة المحول.
٣ ـ منطقة قضبان التوزيع.
٤ ـ منطقة خطوط النقل (الكابلات والخطوط الهوائية).
٥ ـ منطقة الأحمال والمحركات.

يبين الشكل ١ ـ ١ طريقة تقسيم الشبكة إلى مناطق الحماية السابق ذكرها.



شكل ١ ـ ١ مناطق الحماية

١ ـ ٢ ـ ٢ الحماية الرئيسية والثانوية Main and back-up protection:

عند حدوث خطأ على الشبكة يجب فصل الجزء الخاطىء عن باقي الشبكة في أقل فترة زمنية ممكنة. يمكن أن يؤدي فشل أجهزة الحماية والقطع في فصل الخطأ إلى خطورة شديدة على الأفراد العاملين وكذلك تلف وتدمير أجهزة الشبكة. لهذا السبب، فإن فلسفة الحماية تعتمد دائماً في حماية كل نقطة من الشبكة على نوعين من الحماية:

أ ـ الحماية الرئيسية، وهي أجهزة الحماية الرئيسية المسئولة أساساً عن فصل الجزء الخاطىء بأسرع وقت ممكن وذلك تبعاً لنظام تنسيق منظومة الحماية.

ب ـ الحماية الثانوية، وهي أجهزة حماية أخرى تكون مسئولة عن فصل الجزء الخاطىء في حالة فشل أجهزة الحماية الرئيسية في فصل الخطأ. وتعمل أجهزة الحماية الثانوية بتأخير زمني متعمد عن أجهزة الحماية الرئيسية وذلك حتى تترك لها المجال للعمل أولاً.

لعل أبسط الطرق في تصميم الحماية الرئيسية والثانوية هو ازدواج جميع أجهزة الحماية بحيث يوجد جهازان من كل نوع، أحدهما للحماية الرئيسية والآخر للحماية الثانوية. إلا أن هذا المنطق غير مقبول تماماً من وجهة النظر الاقتصادية. وتوجد طرق عديدة لتحقيق الحماية الرئيسية والثانوية بطريقة مقبولة هندسياً واقتصادياً. سوف نتناول تلك الطرق أثناء دراستنا لمادة هذا الكتاب.

١ ـ ٢ ـ ٣ الانتقائية والتمييز Selectivity and discrimination:

يقصد بانتقائية منظومة الحماية قدرة تلك المنظومة على انتقاء الجزء الخاطىء من الشبكة وفصله عن باقي أجزاء الشبكة السليمة دون غيره. من الصعب في أغلب الأحيان الحصول على انتقائية كاملة حيث يكون ذلك مكلفاً وربما دون داعٍ. وتبعاً لذلك فإن درجة انتقائية منظومة الحماية تتحدد بعوامل مختلفة منها أهمية الأحمال والتكاليف وكذلك طريقة التشغيل. ويمكن القول بصفة عامة أنه من المسموح به في أغلب الحالات فصل بعض الأجزاء السليمة

من الشبكة في حالة حدوث خطأ ما على أحد الأجزاء مما يعني أن الانتقائية غير كاملة تماماً.

أما التمييز فهو قدرة منظومة الحماية على التمييز بين ما يـأتي (كل على حدة).

أولاً : حالات التشغيل الطبيعية وحالات التشغيل غير الطبيعية.
ثانياً : حالات التشغيل غير الطبيعية داخل منطقة الحماية وحـالات التشغيل غير الطبيعية خارج منطقة الحماية.

١ ـ ٢ ـ ٤ التنسيق Coordination:

التنسيق في منظومة الحماية هو عملية ضبط جميع أجهزة الحماية والقطع في تلك المنظومة (مصهرات ـ مرحلات ـ قواطع دائرة) بحيث يتم تحديد الحالة التي يعمل عندها كل جهاز وزمن عمل هذا الجهاز وذلك تبعاً لـطبيعة الخـطأ الناتج من حيث مقداره ونوعه. يمكن عن طريق عملية التنسيق الحصول على الانتقاء المطلوب من عملية الحماية.

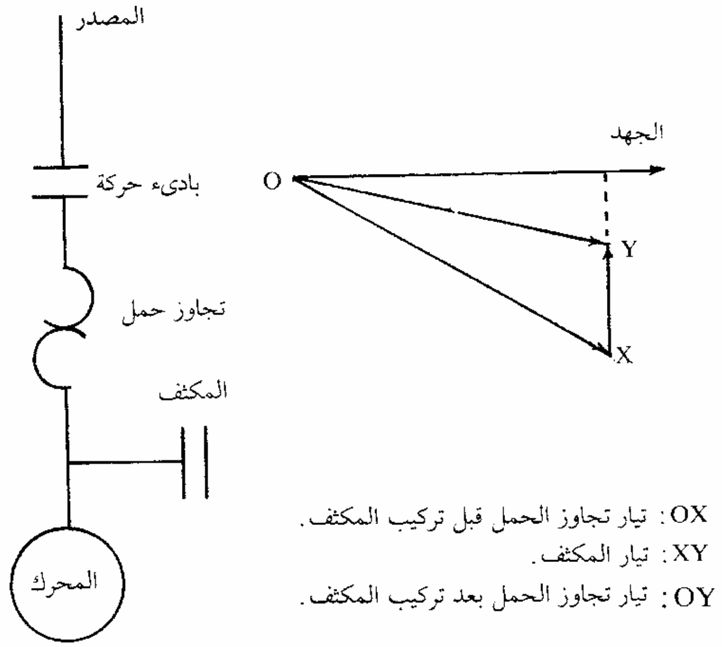
١ ـ ٣ اعتبارات هامة في منظومة الحماية:

نورد فيما يلي بعض الاعتبارات والملاحظات الهامة الواجب مـراعاتهـا سواء عند تشغيل وضبط منظومـة الحمايـة أو في خلال المـراحل المبكـرة من تصميم الشبكة الرئيسية:

أولاً: إن معـظم منظومـات القوى في المنشـآت الصناعيـة تتميز ببعض المرونة في التشغيل وطريقة توصيل مكونـات الشبكة، بحيث يمكن أن تـأخذ توصيلات مختلفة تبعاً لظروف التشغيل ومتطلبات عملية الإنتاج. يجب مراعاة هذا الوضع جيداً عند تصميم منظومة الحماية، حيث قد يكون من غير الممكن تصميم منظومة حماية تتمشى مع جميع حالات تشغيل الشبكة. ويجب بصفة عامة تجنب تلك التوصيلات التي لا يمكن وضع حماية مناسبـة لها. إن هـذا يوضح سبب ارتبـاط عملية تصميم منـظومة الحمـاية بعمليـة تصميم الشبكـة الرئيسية من البداية.

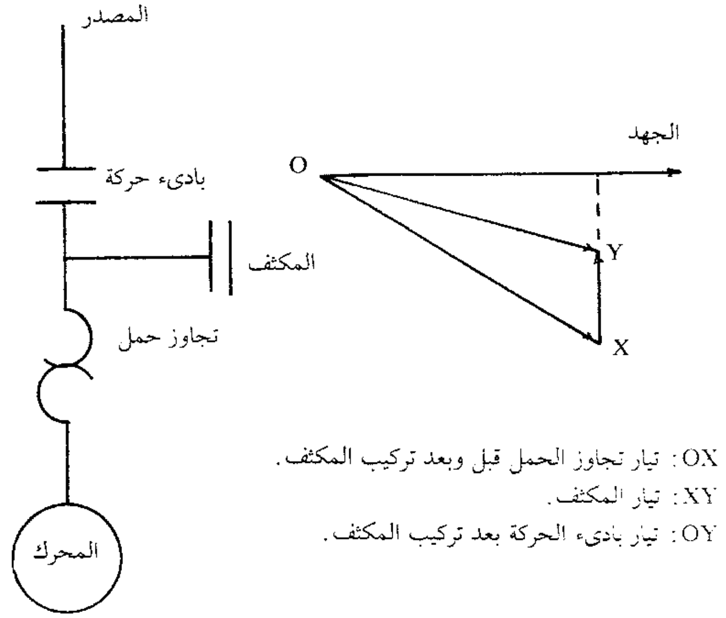
ثانياً: يجب ـ علاوة على ما سبق ـ مراعاة أن أي تغيير يطرأ على الشبكة بعد بنائها وتشغيلها يجب أن يرتبط بإعادة ضبط أجهزة منظومة الحماية. نذكر على سبيل المثال حالة وجود محرك عليه جهاز حماية تجاوز حمل Overloading. هذا الجهاز يتم ضبطه تبعاً لقيمة تيار المحرك. يحدث في كثير من الأحيان أن يتم تركيب مكثف على التوازي مع المحرك بغرض تحسين معامل قدرة هذا المحرك. يحدد الموضع الذي يركب فيه المكثف ضرورة إعادة ضبط جهاز تجاوز الحمل من عدمها وذلك تبعاً لما يأتي:

- إذا وُضع المكثف بين المحرك وبين جهاز الحماية فإن هذا يؤدي إلى خفض تيار بادىء الحركة وكذلك التيار المار في جهاز الحماية بحيث يحتاج الأمر إلى إعادة ضبط جهاز الحماية. يبين الشكل ١ ـ ٢ هذا الوضع.



شكل ١ ـ ٢ المكثف بين المحرك وحماية تجاوز الحمل

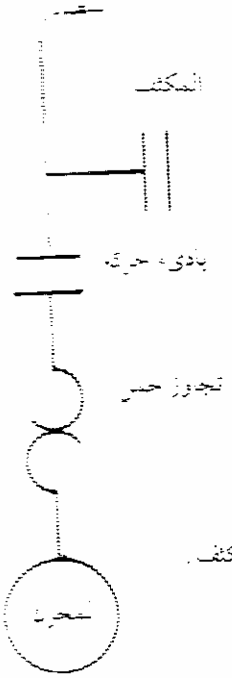
ب ـ إذا وُضع المكثف بين جهاز الحماية وبين بادىء الحركة فإن هـذا يؤدي إلى خفض تيار بادىء الحركة بينما لا يتغير تيار جهاز الحماية وبذلك لا يحتاج إلى إعادة ضبط. يبين الشكل ١ ـ ٣ هذا الوضع.

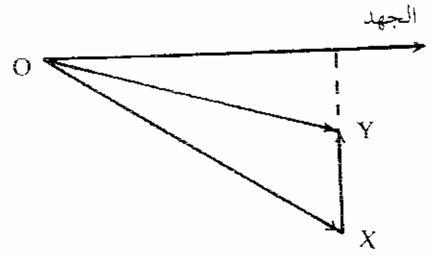


شكل ١ ـ ٣ المكثف بين بادىء الحركة وتجاوز الحمل

جـ ـ إذا وُضع المكثف بين مصدر التغذية وبادىء الحركة لا يتغير كل من تيار بادىء الحركة وتيار تجـاوز الحمل، ولا يحتـاج الأمر إلى إعـادة الضبط. يبين الشكل ١ ـ ٤ هذا الوضع.

ثالثاً: يتم شحن وتوريد أجهزة الحماية والقطع من المصنع مضبوطة على نقطة اختيارية. وعلى المهندس إعـادة ضبط هذه الأجهـزة بعد تـركيبهـا في مواقعها التي ستعمل بها، وذلك تبعاً لنتائج الدراسة والتصميم بغرض الحصول على التنسيق المطلوب.





XO : تيار تجاوز الحمل وبادىء الحركة قبل وبعد تركيب المكثف.
XY : تيار المكثف.
OY : تيار المصدر بعد تركيب المكثف.

شكل ١ ـ ٤ المكثف بين المصدر وبادىء الحركة

رابعاً: إن التوصل إلى تصميم سليم لمنظومة الحماية يتطلب ـ بالإضافة إلى الخبرة اللازمة ـ اتباع إحدى المواصفات العالمية المعترف بها أو على الأقل المواصفة الوطنية في حالة توافرها. ونلاحظ بصفة عامة أن الخبرة والمواصفات الأمريكية تختلف قليلاً عن الخبرة والمواصفات الأوروبية حيث أن الأولى أكثر تشدداً أو تحفظاً. وسوف نسير في معظم مادة هـذا الكتاب تبعاً للمواصفات الأمـريكية الـوطنيـة المعـروفـة بـاسم National Electrical Code (NEC) وعند الاختلاف سوف نذكر ذلك في موضعـه. يقدم الملحق ب أسمـاء أهم مصادر المواصفات العالمية والوطنية للدول المختلفة.

خامساً: إن الحسابات الدقيقة وعمليات الاختيار السليم للأجهزة لا تغني في النهاية عن إجـراء عمليات الضبط والاختبـار على الواقـع بعد الانتهـاء من تركيب منظومة الحماية.

<u>يليه ألفصل ألثاني</u>

قصر الدائرة المتماثل

Symmetrical Short Circuit

٢ - ١ مقدمــة:

قصر الدائرة المتماثل هو حدوث تلامس مباشر بين الخطوط الثلاثة المكونة لأطوار الشبكة الثلاثة. ورغم أن هذا النوع من القصر قليل الحدوث، إلا أنه يُعتبر حجر الأساس في جميع عمليات تصميم وضبط منظومات الحماية. تكمن أهمية دراسة القصر المتماثل فيما يأتي:

١ - أبسط أنواع القصر من حيث الدراسة، حيث أن القصر المتماثل لا يؤثر على تماثل الشبكة من حيث الأداء بالنسبة لأطوارها الثلاثة. يمكن تبعاً لذلك استخدام مخطط الخط الواحد Single-line diagram لحل هذا النوع من القصر.

٢ - يعتمد اختيار مقننات أجهزة الحماية والقطع أساساً على نتائج دراسات قصر الدائرة المتماثل في أغلب حالات المنشآت الصناعية.

٣ - تعطي نتائج دراسة القصر المتماثل أكبر قيم لتيارات القصر بالمقارنة بحالات القصر الأخرى. إن هذا يجعل الاعتماد على تلك النتائج أكثر أمناً من غيرها.

٤ - نظراً لأن تيارات القصر تؤدي إلى ارتفاعات خطيرة في الاجهادات الحرارية والميكانيكية (تتناسب مع مربع تيار القصر) التي تتعرض لها أجهزة الشبكة

مثل المحولات والكابلات وقضبان التوزيع، فإن اختيار مقننات تلك الأجهزة يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى قدرتها على تحمل تيارات القصر المتماثل لفترات زمنية محددة.

٥ ـ ينشأ عن حدوث قصر مباشر Bolted fault بين خطين تيار قصر لا يتعدى ٨٧٪ من قيمة تيار القصر المتماثل. وينشأ عن حدوث قصر مباشر بين أحد الخطوط والأرض تيار قصر قد تصل قيمته إلى قيمة تيار القصر المتماثل في بعض الأحيان. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الدراسة النظرية قد تصل بنا إلى تيار قصر خط ـ أرض أكبر من تيار القصر المتماثل في بعض الحالات، كما في حالة حدوث قصر على الملف الثانوي لمحول دلتا ـ نجمة. ومع ذلك فإن القياسات والاختبارات العملية تبين أن تيار القصر خط ـ أرض أقل من تيار القصر المتماثل بسبب مقاومة الأرض العالية نسبياً التي يمر فيها تيار القصر الأرضي.

رغم أن أساسيات حسابات قصر الدائرة المتماثل لا تختلف من شبكة إلى أخرى، إلا أن العوامل المؤثرة على مقدار تيار القصر في شبكات النقل ذات الجهد الفائق (٦٦ ك. ڤ وأكبر) تختلف عن تلك الموجودة في شبكات التوزيع وشبكات المنشآت الصناعية التي تُعتبر أبسط نسبياً. وتبعاً لذلك فإن التركيز في هذا الباب سوف يكون على شبكات الجهد المنخفض (أقل من ١٠٠٠ ڤولت) وشبكات الجهد المتوسط (حتى ٣٣ ك. ڤ). ويمكن بصفة عامة الاعتماد على المعلومات والبيانات والطرق المذكورة في هذا الباب في الحصول على نتائج على درجة مقبولة من الدقة، بحيث يمكن الاعتماد عليها بأمان تام في تصميم وضبط منظومة الحماية. ونود أن نشير هنا إلى أن تلك الطرق غير مناسبة في منظومات النقل المترابطة Interconnected ذات الجهد الفائق.

يمكن توضيح مخاطر وأضرار حدوث قصر دائرة فيما يلي:

١ ـ احتمال حدوث قوس كهربي وحريق في مكان الخطأ.

٢ ـ زيادة الاجهادات الحرارية والميكانيكية على أجهزة الشبكة.

٣ ـ انخفاض شديد في جهد المنظومة أثناء القصر؛ حيث يتناسب مقدار الانخفاض في الجهد مع مقدار تيار القصر؛ ويكون أقصى انخفاض في الجهد عند نقطة القصر (جهد نقطة القصر المباشر ينخفض إلى الصفر).

٤ ـ احتمال ارتفاع جهود بعض الأجسام الموصلة المحيطة بالأسلاك الحاملة للتيار (لوحات التوزيع وأغلفة الكابلات وهياكل المحركات وغيرها). إن هذا يسبب خطورة حدوث صدمات كهربية للأفراد العاملين بالقرب من نقطة الخطأ. تُعرف هذه الظاهرة بظاهرة جهد الخطوة وجهد اللمس Step and touch potentials في حالة القصر الأرضي.

يجب ـ للأسباب السابقة وغيرها ـ اعتبار ما يأتي كأمور مرتبطة بقصر الدائرة:

١ ـ يجب فصل الخطأ عن باقي الشبكة بأسرع ما يمكن لخفض احتمال حدوث حرائق.

٢ ـ يجب أن تكون هناك معلومات كافية عن مدى تحمل أجهزة الشبكة المختلفة لتيارات القصر إلى حين فصل الدائرة بواسطة منظومة الحماية. ويلجأ المهندسون عادة عند حدوث مشاكل من هذا النوع إلى حل تلك المشكلة إما بإعادة ضبط خطة الحماية وإما باستعمال أجهزة ذات مقننات أكبر وإما بخفض قيمة تيار القصر باستخدام المفاعلات Reactors أو تأريض أجهزة المنظومة من نقطة التعادل Neutral بواسطة مقاومة مثلاً.

٣ ـ يجب الاهتمام بعملية التأريض الوقائي Protective grounding للأجسام المعدنية غير الحاملة للتيار والمحيطة بالموصلات الحاملة للتيار، وذلك لتجنب حدوث الصدمات الكهربية للأفراد.

٢ ـ ٢ العوامل المؤثرة في تحديد مقدار تيار القصر:

إن فكرة حساب تيار القصر تعتمد ببساطة على رسم الدائرة المكافئة Equivalent circuit للشبكة أثناء فترة القصر، ثم حل هذه الدائرة لإيجاد تيار القصر المتماثل عند نقطة الخطأ. يلزم ـ تبعاً لذلك ـ معرفة الدائرة المكافئة

لكل جهاز في الشبكة أثناء فترة القصر. يتم عادة اتخاذ الفروض الآتية عند رسم الدائرة المكافئة للقصر:

١ ـ إهمال جميع تيارات الشبكة الموجودة قبل حدوث القصر مباشرة. حيث لا يؤخذ في الاعتبار إلا تيار القصر فقط.

٢ ـ تعمل جميع المولدات على جهدها الإسمي Nominal voltage وكذلك تعمل جميع المحولات على نسبة التحويل الإسمية Nominal turns ratio.

٣ ـ جميع المولدات تعمل على نفس زاوية الطور.

٤ ـ تهمل جميع المقاومات في الشبكات ذات الجهد الأعلى من ٦٠٠ ڤولت.

تتيح لنا الفروض ١ و ٢ و ٣ أن نستبدل جميع مصادر الجهد بمصدر جهد واحد نظراً لتساويها في المقدار ولأن لها نفس زاوية الطور، وبذلك يمكن النظر إليها على أنها موصلة جميعها على التوازي.

يتبين لنا مما سبق أن القيمة النهائية لتيار القصر عند نقطة الخطأ وكذلك طريقة توزيع التيار في فترات القصر تعتمد أساساً على عاملين أساسيين هما:

أ ـ مصادر تغذية تيار القصر.

ب ـ معاوقات الأجهزة والموصلات التي تعمل على الحد من تيار القصر.

سوف نتناول بالتفصيل فيما يلي دراسة هذين العاملين.

٢ ـ ٢ ـ ١ مصادر تغذية تيار القصر:

إن مصادر تغذية تيار القصر هي تلك المصادر أو الأجهزة التي تحتفظ بجهد داخلي (قوة دفعة كهربية أو قضيب توزيع لانهائي Infinite busbar ذو جهد ثابت) أثناء فترة القصر أو خلال جزء من تلك الفترة. يمكن تبعاً لهذا التعريف تحديد مصادر تغذية تيار القصر بما يأتي:

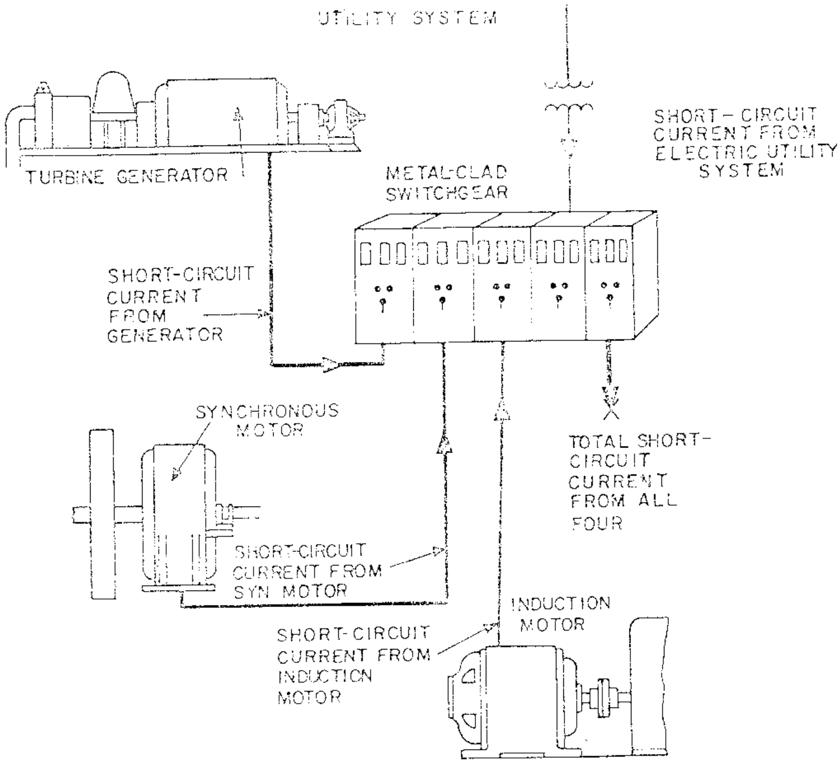
أ ـ شبكة التغذية Utility system.

ب ـ المولدات المحلية الخاصة بالشبكة تحت الدراسة Local generators.

جـ ـ المحركات والمكثفات المتزامنة Synchronous motors & condensers.

د ـ المحركات الحثية Induction motors.

يبين الشكل ٢ ـ ١ مصادر التغذية المختلفة بتيار القصر.

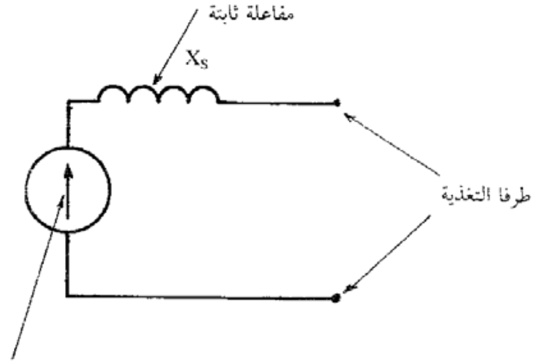


شكل ٢ ـ ١ مصادر تيار القصر

٢ ـ ٢ ـ ١ ـ ١ شبكة التغذية:

شبكة التغذية هي الشبكة العامة للتغذية والمتصل عليها لوحات التوزيع الرئيسية للمنشأة الصناعية. وهي في العادة عبارة عن محطات توليد بعيدة عن الشبكة المحلية، حيث توجد شبكة كبيرة من الموصلات والأجهزة بين محطات التوليد في شبكة التغذية والشبكة المحلية. لو تصورنا أن جهد التغذية عند قضيب توزيع اللوحة الرئيسية يظل ثابتاً ولا يتأثر بحدوث القصر في الشبكة المحلية فإن شبكة التغذية تصبح في تلك الحال شبكة لانهائية Infinite grid،

بمعنى أنه لو حدث قصر متماثل عند قضيب توزيع اللوحة الرئيسية (اتصال شبكة التغذية بالشبكة المحلية) فإن تيار القصر يجب أن يكون لانهائياً حتى يحافظ على جهد هذا القضيب ثابتاً دون تغيير. نفهم من ذلك سبب تسمية تلك الشبكة بأنها شبكة لانهائية. إلا أن الواقع العملي هو أن جهد قضيب توزيع اللوحة الرئيسية ينخفض قليلاً أثناء القصر، وعلى ذلك فيمكن تمثيل شبكة التغذية بمولد ذي جهد ثابت مع مفاعلة على التوالي بينه وبين نقطة مدخل الشبكة المحلية كما هو مبين بالشكل ٢ ـ ٢. عند معرفة قيمة المفاعلة المكافئة



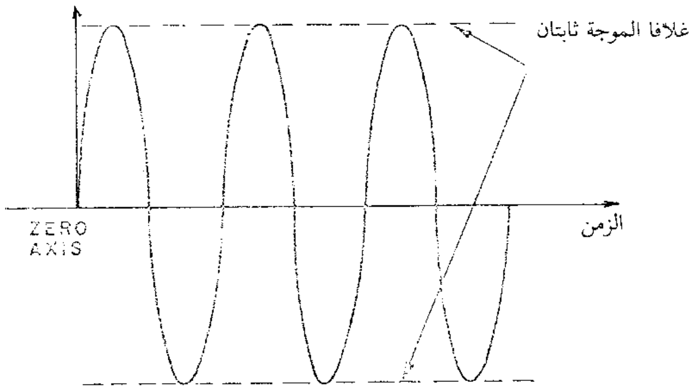
شكل ٢ ـ ٢ تمثيل شبكة التغذية

لشبكة التغذية يمكن حساب قيمة تيار القصر المتماثل عند نقطة التغذية عن طريق قسمة الجهد على تلك المفاعلة. يبين الشكل ٢ ـ ٣ شكل تيار القصر الناتج من شبكة التغذية.

جرت العادة على إيجاد قيمة مفاعلة شبكة التغذية عن طريق تعريف ما يسمى بمنسوب القصر Short circuit level، وهو حاصل ضرب تيار القصر في قيمة الجهد ويعطى عادة بالميجاڤولت أمبير. وبمعرفة قيمة منسوب القصر يمكن إيجاد قيمة المفاعلة المكافئة لشبكة التغذية كما يأتي:

$$(V.A)_{S.C.} = 3V_{ph}I_{S.C.} \quad \text{(1-2)}$$

$$= 3V_{ph} \frac{V_{ph}}{X_S} \quad \text{(2-2)}$$



شكل ٢ ـ ٣ تيار القصر من شبكة التغذية

$$X_S = \frac{3V_{ph}^2}{(V.A)_{s.c}}$$

ومنها:

$$X_S = \frac{(K.V)^2}{(MVA)_{s.c.}} \text{ Ohms} \qquad (3\text{-}2)$$

حيث:

(K.V) : جهد الخط بالكيلوڤولت.

$(MVA)_{s.c.}$: منسوب القصر بالميجاڤولت أمبير.

X_S : المفاعلة المكافئة لشبكة التغذية بالأوم.

يجب على الجهة المسئولة عن شبكة التغذية تزويد المسئولين عن المنشأة بقيمة منسوب القصر حتى يمكن حساب المفاعلة المكافئة لشبكة التغذية. وفي حالة تعذر ذلك فيمكن استعمال البيانات الواردة في الجدول ٢ ـ ١ تبعاً للجهد الأعلى لشبكة التغذية.

جدول ٢ ـ ١ منسوب القصر لشبكة التغذية

الجهد الأعلى للشبكة (ك.ف)	منسوب القصر (ك.ف.أ)
٧,٢، ١٢، ١٧,٥، ٢٤	٥٠٠ ٠٠٠
٣٦	١٠٠٠ ٠٠٠
٥٢، ٧٢,٥	٣٠٠٠ ٠٠٠
١٠٠، ١٢٣	٦٠٠٠ ٠٠٠
١٤٥، ١٧٠	١٠ ٠٠٠ ٠٠٠
٢٤٥	٢٠ ٠٠٠ ٠٠٠
٣٠٠	٣٠ ٠٠٠ ٠٠٠
٤٢٠	٤٠ ٠٠٠ ٠٠٠

لاحظ في شكل ٢ ـ ٣ أن موجة تيار القصر القادم من شبكة التغذية هي موجة تيار جيبي مستقر لا تتغير قيمته الذروية Peak value بمرور الزمن.

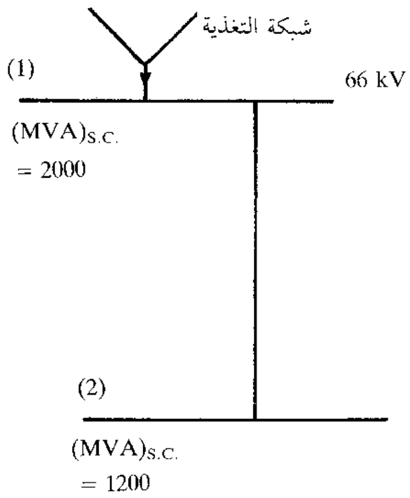
مثال ٢ ـ ١:

شبكة محلية صناعية يمكن تغذيتها بواسطة شبكة تغذية على جهد ٦٦ ك.ف من الموضع (1) حيث منسوب القصر ٢٠٠٠ م.ف.أ. إذا كان هناك موضع بديل للتغذية هو الموضع (2) بحيث ينخفض منسوب القصر إلى ١٢٠٠ م.ف.أ فما هي مفاعلة الخط الواصل بين الموضع (1) والموضع (2) بالأوم؟

بالإشارة إلى شكل ٢ ـ ٤ وباستخدام المعادلة (٢ ـ ٣) مرة عند القضيب (1) ومرة عند القضيب (2) نحصل على ما يأتي:

$$X_{S.C.1} = \frac{(66)^2}{2000} = 2.178 \text{ Ohms}$$

$$X_{S.C.2} = \frac{(66)^2}{1200} = 3.630 \text{ Ohms}$$



شكل ٢ ـ ٤ مثال ٢ ـ ١

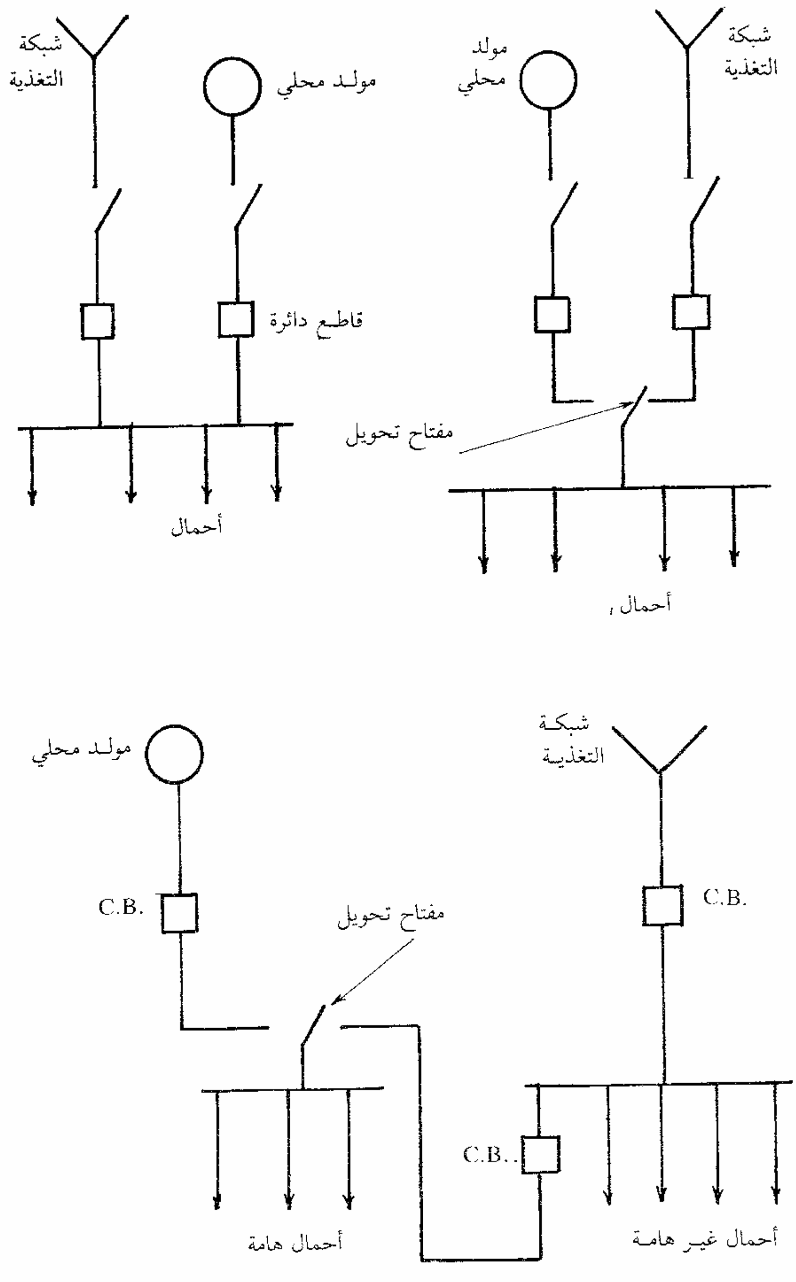
ومفاعلة الخط الواصل بينهما هي الفرق بين المفاعلتين، أي أن:

$$X_{(1)-(2)} = 3.630 - 2.178 = 1.452 \text{ Ohms}$$

نلاحظ من هذا المثال أنه كلما زادت المفاعلة بين شبكة التغذية ومدخل الشبكة المحلية كلما قل منسوب القصر عند هذا المدخل.

٢ ـ ٢ ـ ١ ـ ٢ المولدات المحلية:

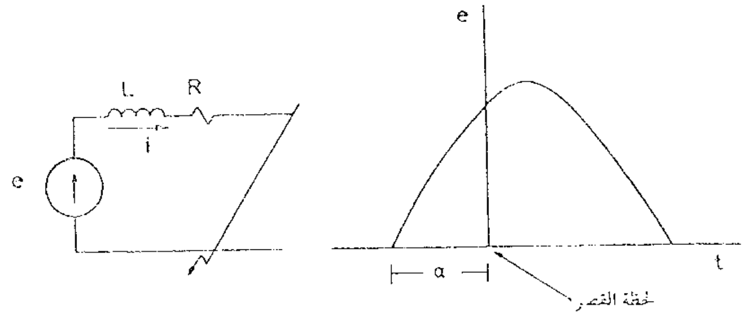
رغم أن الغالبية العظمى من الصناعات تعتمد في تغذيتها على شبكة التغذية العامة، إلا أن الحاجة إلى وجود محطة توليد محلية خاصة بالمنشأة الصناعية قد تكون حيوية في بعض الصناعات التي لا تحتمل انقطاع التغذية كصناعات البتروكيماويات وبعض الصناعات الكيماوية الأخرى. وتحدد خطة الإنتاج نظام التغذية، فنجد في بعض الأحيان أن تكون التغذية الرئيسية من الشبكة العامة والتغذية الاحتياطية من الشبكة المحلية. وقد نجد عكس هذه الخطة في بعض الأحيان الأخرى. وتوجد كثير من نظم التغذية يتم فيها تغذية الأحمال من الشبكة العامة ومن المولدات المحلية في نفس الوقت. يبين الشكل ٢ ـ ٥ بعضاً من هذه الخطط.



شكل ٢ ـ ٥ استخدام التغذية المحلية

إن الـذي يهمنا في هـذا الموضـوع ويرتبط بمـوضـوع تصميم منـظومـة الحماية هو أن هذا التصميم يعتمد على أقصى قيمة لتيار القصر من الممكن أن تحدث، وكذلك أقل قيمة له. وتبعاً لذلك فيجب دراسة قصـر الدائـرة لجميع الأحوال المختلفة لنظم التشغيل.

ندرس الآن حالة حدوث قصر أثناء تغذية الشبكـة المحلية بـالمولـدات المحلية الخاصة بها كما في شكل ٢ ـ ٦. نفرض وجود مولد غير محمل الجهد الداخلي له (القوة الدافعة الكهربية) على الصورة:



شكل ٢ ـ ٦ القصر على مولد متزامن

$$e = E_{max} \sin\omega t$$

$$= iR + L\frac{di}{dt} \quad \text{(5-2)}$$

وحل هذه المعادلة يعطي:

$$i = I_{max}\sin(\omega t - \phi) - I_{max}\sin(\omega t_0 - \phi)e^{-(R/L)(t-t_0)} \quad \text{(6-2)}$$

حيث t_0 هي لحظة حدوث القصر.

$$I_{max} = \frac{E_{max}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \quad , \phi = \arctan\frac{\omega L}{R}$$

بالتأمل في المعادلة (٢ ـ ٦) نجد أن القيمة اللحظية لتيار القصـر تعتمد أساساً على لحظة القصر t_0. نلاحظ أيضاً أن تيار القصر يحتوي بصفة عامة على مركبتين:

أ ـ مركبة تيار جيبي في الحالة المستقرة وتمثلها الكمية

$I_{max}\sin(\omega t - \phi)$

ب ـ مركبة تيار ثابت الاتجاه وتمثلها الكمية

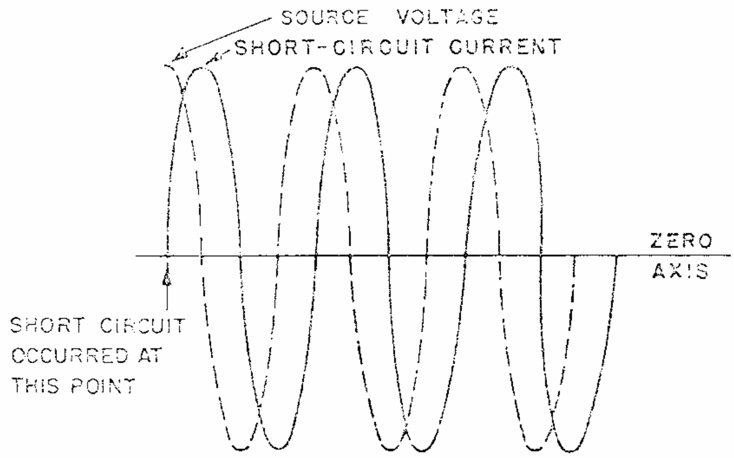
$$I_{max}\sin(\omega t_0-\phi)e^{-(R/L)(t-t_0)}$$

وهذه المركبة تضمحل بمرور الزمن حتى تتلاشى تماماً نتيجة لوجود مقاومات في الدائرة، إلا أن قيمتها الإبتدائية تعتمد أساساً على لحظة حدوث القصر t_0، ويعتمد المعدل الذي تضمحل به هذه المركبة على القيمة $\frac{R}{L}$ ، فكلما زادت هذه القيمة كلما زاد معدل الاضمحلال. ندرس الآن حالتين مختلفتين؛ حالة إهمال المقاومة (للشبكات الأعلى من ٦٠٠ ڤولت) ثم حالة اعتبار المقاومة (في شبكات توزيع الجهد المنخفض).

أولاً: المقاومة $R = 0$، بإعادة كتابة المعادلة (٢ ـ ٦) ووضع $R = 0$ نحصل على:

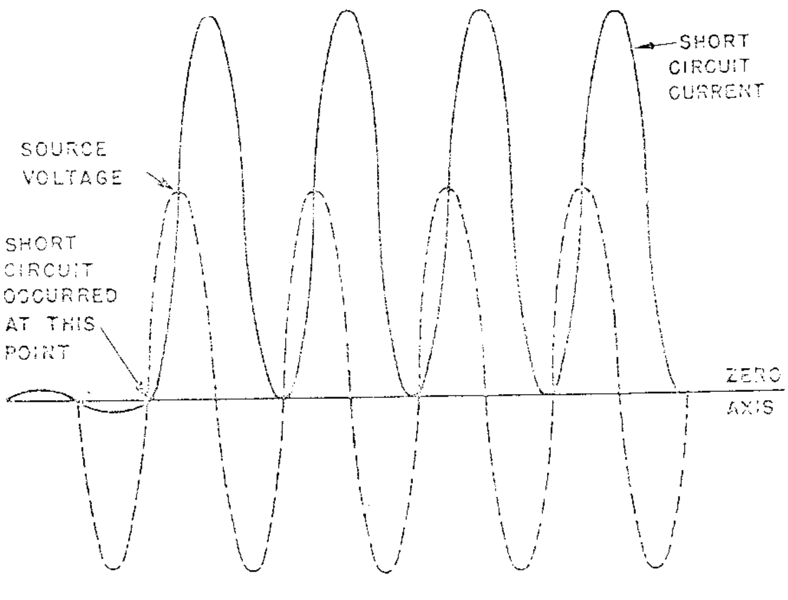
$$i = I_{max}\sin(\omega t-90) - I_{max}\sin(\omega t_0-90) \qquad (7\text{-}2)$$

لاحظ أن التيار في هذه الحال يتأخر عن الجهد بزاوية طور مقدارها ٩٠°. لو تصورنا الآن أن القصر قد حدث عند لحظة القيمة القصوى للجهد. إن التيار في تلك اللحظة يكون صفراً ويبدأ من الصفر في الزيادة متتبعاً شكل دالة جيبية متماثلة حول محور الصفر. ينتج عن ذلك تيار قصر متماثل كما في الشكل ٢ ـ ٧.



شكل ٢ ـ ٧ التيار المتماثل والجهد في دائرة مفاعلة فقط

وعلى العكس من ذلك، لو فرضنا حدوث القصر لحظة مرور موجة الجهد بالصفر فإن تيار القصر يبدأ أيضاً من الصفر (تبعاً لفرض إهمال التيارات قبل القصر) ولكنه لا يمكنه أن يتبع شكل دالة جيبية متماثلة حول محور الصفر حيث يجب عليه أن يتأخر عن موجة الجهد بزاوية طور مقدارها ٩٠°. إن هذا لا يمكن حدوثه إلا إذا كانت موجة التيار مزاحة Displaced عن محور الصفر تماماً، كما في الشكل ٢ ـ ٨. يوضح الشكلان ٢ ـ ٧ و ٢ ـ ٨ الحالتين الحديتين لقيمة تيار القصر، حيث تصل القيمة الذروية (وكذلك القيمة الفعالة) في الحالة الثانية إلى ضعف قيمتها في الحالة الأولى.



شكل ٢ ـ ٨ التيار غير المتماثل والجهد في دائرة مفاعلة فقط

إذا حدث القصر في لحظة تكون فيها قيمة موجة الجهد بين الصفر والقيمة القصوى فإن موجة التيار تكون مزاحة (غير متماثلة) بدرجة تعتمد على لحظة حدوث القصر.

ثانياً: ننتقل الآن إلى دائرة بها مقاومة R ومفاعلة $X = \omega L$. يمكن عن طريق اتباع نفس التحليل السابق الوصول إلى النتائج التالية:

i ـ يحدث أكبر لا تماثل (إزاحة) لموجة التيار إذا حدث القصر عند لحظة القيمة الصفرية لموجة الجهد. ويمكن التحقق من ذلك بالتعويض بقيمة $t_0 = 0$ في المعادلة (٢ ـ ٦) فنحصل على

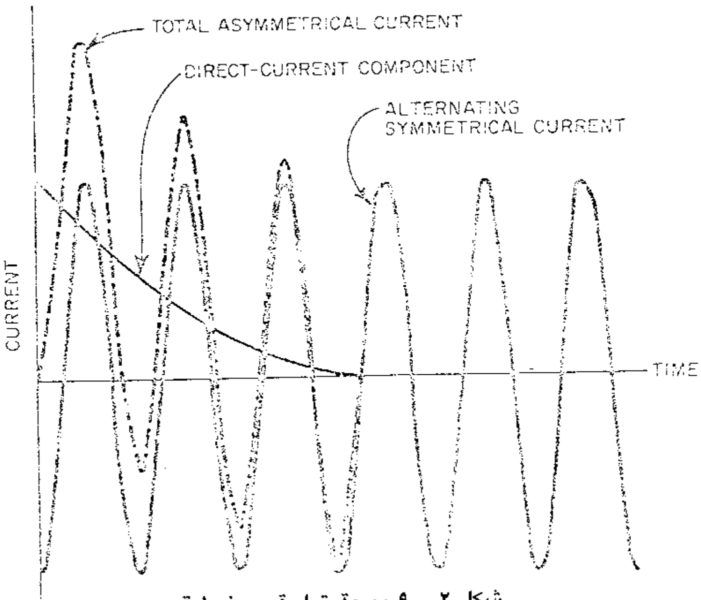
$$i = I_{max} \sin(\omega t - \phi) + I_{max} \sin\phi \, e^{-(R/L)t} \quad \text{(8-2)}$$

من الواضح في المعادلة السابقة أن قيمة التيار تساوي الصفر عند لحظة القصر ($t = 0$)، إلا أن قيمة هذا التيار تصل إلى حوالي ($2I_{max}$) بعد مرور حوالي نصف دورة ($\omega t = 180°$) وذلك على اعتبار أن قيمة R صغيرة بالنسبة لقيمة L.

ii ـ تعتمد لحظة القصر المناسبة لحدوث موجة تيار قصر متماثل على قيمة ($\frac{L}{R}$). إن اللحظة التي ينتج عنها تيار قصر متماثل هي النقطة على موجة الجهد التي تناظر زاوية ظلها يساوي $\frac{\omega L}{R}$. ويمكن التحقق من ذلك أيضاً بإعادة استعمال المعادلة (٢ ـ ٦) ووضع ($\omega t_0 = \phi$) حيث تنعدم مركبة التيار الثابت ونحصل من البداية على تيار قصر مستقر ومتماثل حول محور الصفر يعطى بالمعادلة

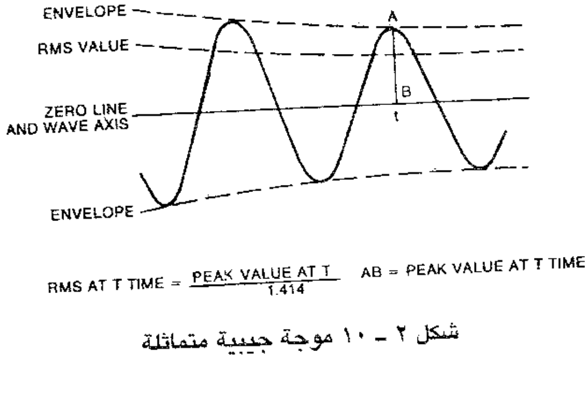
$$i = I_{max} \sin(\omega t - \phi) \quad \text{(9-2)}$$

ننتقل الآن إلى الحالة الواقعية، حيث يحدث القصر في لحظة عشوائية تقع بين اللحظتين السابق اعتبارهما مع اعتبار الدائرة تحتوي على مقاومة. ينتج عن ذلك تيار قصر متماثل تتراوح القيمة الذروية للدورة الأولى له بين القيمتين (I_{max}) و ($2I_{max}$) تبعاً للحظة القصر. يبين الشكل ٢ ـ ٩ صورة نمطية لهذا التيار.

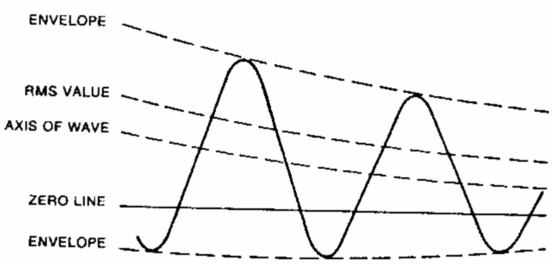


شكل ٢ ـ ٩ موجة تيار قصر نمطية

ملحوظة: يُقصد بالتيار المتماثل أن يكون شكل موجة التيار متماثلاً حول محور الصفر وذلك بصرف النظر عن شكل الموجة نفسها، فإذا كان غلافا موجة التيار Envelopes متماثلين حول محور الصفر فإن موجة التيار تكون متماثلة كما في شكل ٢ ـ ١٠، وعلى العكس من ذلك إذا كان الغلافان غير متماثلين حول محور الصفر فإن التيار يكون غير متماثل كما في شكل ٢ ـ ١١.

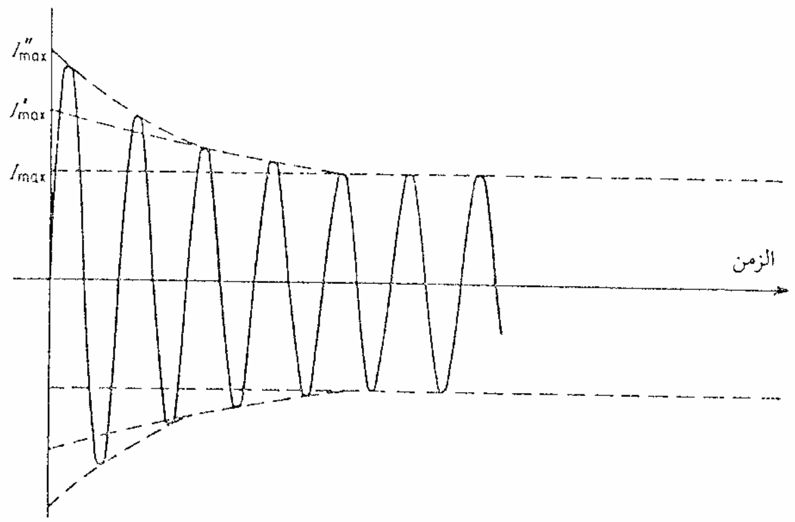


شكل ٢ ـ ١٠ موجة جيبية متماثلة



شكل ٢ ـ ١١ موجة جيبية غير متماثلة

عند حدوث قصر متماثل على أطراف المولد المتزامن فإن تيار القصر يكون غير متماثل بالنسبة لمحور الزمن بسبب وجود مركبة التيار المستمر ضمن تيار القصر الكلي كما سبق بيانه. ولو استبعدنا مركبة التيار المستمر فإن التيار المتبقي يكون متماثلاً ولكن قيمته غير ثابتة وإنما تتضاءل مع الزمن حتى تصل إلى القيمة المستقرة كما هو موضح بالشكل ٢ ـ ١٢. إن السبب في ذلك يرجع



شكل ٢ ـ ١٢ تيار قصر متماثل من مولد متزامن

إلى أن مفاعلة المولد ليست مفاعلة ثابتة بسيطة (وكذلك جميع الآلات الدوارة)، وإنما هي مفاعلة معقدة ومتغيرة مع الزمن بسبب تغير وتفاعل المجالات المغناطيسية داخل الآلة خلال الفترات العابرة التي يمر بها المولد من لحظة حدوث القصر وحتى الوصول إلى الحالة المستقرة. يبدأ تيار القصر عادة بمقدار مرتفع ثم يستمر في الإضمحلال حتى يصل إلى الحالة المستقرة. ومع اعتبار أن كلاً من سرعة المولد والقوة الدافعة الكهربية له ثابتتان خلال الفترة العابرة، فلتمثيل التغير الذي يمر به تيار القصر يجب أن تكون مفاعلة المولد متغيرة مع الزمن لكي تتمشى مع تغيرات تيار القصر.

إن إيجاد علاقة رياضية بين مفاعلة المولد والزمن هو من الموضوعات المعقدة والتي لا ضرورة لها في مجال دراسة قصر الدائرة. ولقد اتفق المهندسون على اعتبار أن مفاعلة المولد تمر بثلاث مراحل زمنية متتابعة تكون قيمة المفاعلة ثابتة خلال كل فترة. هذه المراحل هي:

أ ـ المفاعلة دون العابرة Subtransient reactance X''_d، وهي مفاعلة المولد لحظة حدوث القصر وتحدد القيمة القصوى لتيار القصر I''_{max} كما هو مبين بالشكل ٢ ـ ١٢. وتبقى هذه المفاعلة إلى حوالي خمس دورات (أي ٠,١ ثانية)، ترتفع قيمتها بعد ذلك إلى:

ب ـ المفاعلة العابرة Transient reactance X'_d، وهي تحدد قيمة التيار I'_{max} وتستمر لفترة زمنية تتراوح بين نصف ثانية وثانيتين حسب حجم الآلة. تزيد بعدها إلى:

جـ ـ المفاعلة المتزامنة Synchronous reactance وهي التي تحدد القيمة النهائية لتيار القصر I_{max} بعد الوصول إلى الحالة المستقرة.

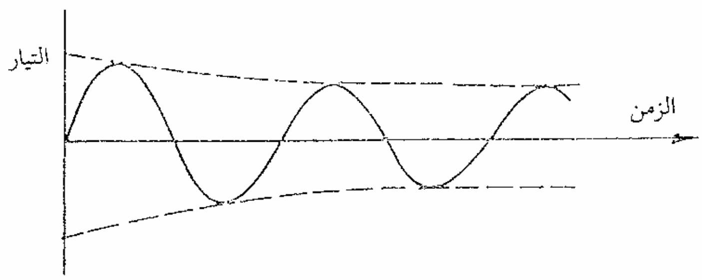
٢ ـ ٢ ـ ١ ـ ٣ المحركات والمكثفات المتزامنة:

الدائرة المكافئة للمحرك المتزامن هي نفس الدائرة المكافئة للمولد، إلا أن طريقة التشغيل تختلف بطبيعة الحال في ظروف العمل العادية. فالمولد المتزامن يرتبط ميكانيكياً ببادىء حركة Prime mover لا ينفصل عنه أثناء القصر

عادة، ويقوم المولد بتغذية الشبكة حيث يكون الجهد الداخلي له أكبر دائماً من الجهد الخارجي لأي نقطة في الشبكة، وعلى ذلك يظل تأثيره موجوداً أثناء فترات القصر الثلاث المذكورة سابقاً (دون العابرة والعابرة والمستقرة).

نجد على الجانب الآخر أنه رغم أن المحركات المتزامنة لها نفس أنواع المفاعلات الموجودة في المولدات ـ وإن كانت بقيم مختلفة ـ إلا أن الطريقة التي يغذي بها المحرك الشبكة المحلية بتيار القصر تختلف عن طريقة المولد. يمكن تفسير ذلك كما يأتي:

عند حدوث خطأ في الدائرة فإن الجهد ينخفض عادة على جميع نقط الدائرة وكذلك على أطراف المحرك، وهذا يؤدي إلى انخفاض القدرة المتاحة لتشغيل المحرك الذي يكون مرتبطاً ميكانيكياً على حمل. يحدث هذا في نفس الوقت الذي يظل فيه الجهد الداخلي دون تغيير؛ فيرتفع بذلك الجهد الداخلي للمحرك عن جهد أطرافه. إن هذا يؤدي إلى أن يدفع المحرك تياراً إلى الشبكة المحلية الموصل عليها، حيث يستمد المحرك الطاقة اللازمة لذلك من قصوره الذاتي والطاقة الميكانيكية المختزنة في الحمل. ينتهي هذا الوضع بفصل مجال الإثارة للمحرك Excitation وسحب كل طاقة القصور الذاتي المختزنة في المحرك والحمل. يتم فصل مجال الإثارة عادة بعد انتهاء الفترة دون العابرة أو الفترة العابرة تبعاً لخطة الحماية، ويجب ألا تزيد فترة تعرض المحرك لحالة القصر إلى ما هو أطول من الفترة العابرة. يبين الشكل ٢ ـ ١٣ تيار القصر الناتج عن المحرك المتزامن.

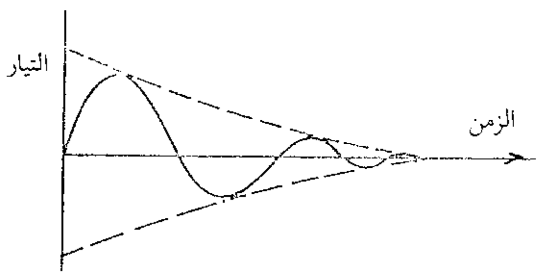


شكل ٢ ـ ١٣ تيار القصر من محرك متزامن

المكثفات المتزامنة Synchronous Condensers لها نفس تركيب المحركات المتزامنة تقريباً، إلا أن طريقة التحميل تختلف. وتستعمل تلك المكثفات عادة لمدّ الشبكة بقدرة مردودة Reactive power بغرض تحسين معامل القدرة. ولقد قل استعمال تلك المكثفات في الشبكات الصناعية المحلية خلال العقدين الاخيرين إلى حد كبير، حيث حلت محلها المكثفات الساكنة Static capacitors واقتصر استعمال المكثفات المتزامنة على شبكات النقل الكبيرة، حيث ما زالت تتميز ببعض الخواص غير الموجودة في المكثفات الساكنة.

٢ - ٢ - ١ - ٤ المحركات الحثية:

تغذي المحركات الحثية الشبكة المحلية بتيار قصر بطريقة مشابهة لطريقة المحركات المتزامنة، إلا أن تيار قصر المحركات الحثية يتلاشى بعد دورة أو دورتين على الأكثر من دورات موجة التيار وذلك نتيجة للقصور مع وجود تيار في ملف العضو الساكن الذي يتلاشى بسرعة. ويمثل المحرك الحثي عادة بنفس دائرة المحرك المتزامن وبمفاعلته دون العابرة. أما المفاعلة العابرة والمفاعلة المستقرة فهما لانهائيتان (دائرة مفتوحة)، حيث لا يدخل المحرك هاتين المرحلتين في جميع حالات التشغيل والحماية عادة. يبين الشكل ٢ - ١٤ تيار القصر الناتج عن المحرك الحثي.



شكل ٢ - ١٤ تيار القصر من محرك حثي

٢ ـ ٢ ـ ٢ عوامل الحد من تيار القصر:

تعمل معاوقات الأجهزة والآلات والموصلات الموجودة في الشبكة على الحد من قيمة تيار القصر كما هي الحال في الدوائر الكهربية. ويجب معرفة تلك المعاوقات للاستعانة بها في رسم الدائرة المكافئة للشبكة أثناء القصر. وفي حالة عدم توافر تلك البيانات فيمكن الاستعانة بالجداول من ٢ ـ ١ إلى ٢ ـ ١٧ لتحديد قيم مفاعلات أو معاوقات أجهزة الشبكة بقدر مقبول من الدقة.

جدول ٢ ـ ١ الخواص الكهربية ـ كابل معزول PVC ١٠٠٠/٦٠٠ فولت (IEC-287)

Conductor size (mm^2)	Armoured single-core cables*				Armoured or unarmoured multicore cables		
	A.C. resistance at 70°C		Reactance (50 Hz)		A.C. resistance at 70°C		Reactance (50 Hz)
	Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Trefoil (ohm/km)	Flat† (ohm/km)	Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	(ohm/km)
16					1.38	2.27	0.087
25					0.870	1.44	0.084
35					0.627	1.04	0.081
50	0.464	0.770	0.112	0.198	0.464	0.770	0.081
70	0.321	0.533	0.107	0.193	0.321	0.533	0.079
95	0.232	0.385	0.103	0.189	0.232	0.385	0.077
120	0.184	0.305	0.103	0.188	0.184	0.305	0.076
150	0.150	0.248	0.101	0.186	0.150	0.248	0.076
185	0.121	0.198	0.099	0.184	0.121	0.198	0.076
240	0.0927	0.152	0.096	0.182	0.0929	0.152	0.075
300	0.0751	0.122	0.094	0.181	0.0752	0.122	0.074
400	0.0600		0.091	0.178	0.0604		0.074
500	0.0494		0.089	0.176			
630	0.0406		0.086	0.173			
800	0.0341		0.086				
1000	0.0296		0.084				
380‡		0.0996	0.094	0.181			
480‡		0.0795	0.092	0.179			
600‡		0.0656	0.089	0.176			
740‡		0.0532	0.089				
960‡		0.0423	0.087				
1200‡		0.0355	0.085				

*aluminium wire armoured
†twice cable diameter spacing between centres
‡solid sectoral aluminium conductors

جدول ٢ ـ ٢ الخواص الكهربية. كابل معزول PVC جهد ١,٩/٣,٣ ك.ف (IEC - 287)

Conductor size (mm^2)	A.C. resistance at 70°C		Reactance (50 Hz)		Capacitance*	
	Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Trefoil (ohm/km)	Flat† (ohm/km)	Copper (μF/km)	Aluminium (μF/km)
Single-core, aluminium wire armoured						
50	0.463	0.770	0.115	0.173	0.86	0.77
70	0.321	0.533	0.109	0.167	1.00	0.89
95	0.232	0.385	0.107	0.165	1.08	0.96
120	0.184	0.305	0.102	0.160	1.20	1.05
150	0.150	0.248	0.099	0.157	1.30	1.15
185	0.120	0.198	0.096	0.154	1.44	1.26
240	0.0929	0.152	0.093	0.151	1.62	1.41
300	0.0752	0.122	0.091	0.149	1.69	1.48
400	0.0600		0.091	0.149	1.71	
500	0.0494		0.089	0.147	1.81	
630	0.0406		0.086	0.144	2.03	
800	0.0341		0.086	0.137	2.17	
1000	0.0296		0.084	0.142	2.32	
380‡		0.0996	0.094	0.152		1.51
480‡		0.0795	0.092	0.150		1.59
600‡		0.0656	0.089	0.147		1.74
740‡		0.0532	0.089	0.147		1.85
960‡		0.0423	0.087	0.145		2.00
1000‡		0.0360	0.086	0.143		2.13
Three-core, armoured or unarmoured						
16	1.38	2.27	0.107		0.54	0.50
25	0.870	1.44	0.097		0.65	0.57
35	0.627	1.04	0.094		0.71	0.64
50	0.463	0.770	0.090		0.78	0.70
70	0.321	0.533	0.086		0.90	0.80
95	0.232	0.385	0.082		1.01	0.91
120	0.184	0.305	0.080		1.10	0.97
150	0.150	0.248	0.079		1.20	1.06
185	0.121	0.198	0.077		1.32	1.16
240	0.0929	0.152	0.075		1.45	1.21
300	0.0752	0.122	0.075		1.50	1.32
400	0.0604		0.074		1.58	

*not applicable to unarmoured cables ‡solid sectoral aluminium conductors
†twice cable diameter spacing between centres

The characteristics apply to cables with extruded PVC bedding.

جدول ٢ ـ ٣ الخواص الكهربية. كابل معزول XLPE جهد ٦٠٠/١٠٠٠ ڤولت

(IEC - 287)

Conductor size (mm^2)	Single-core cables*				Multicore cables		
	A.C. resistance at 90°C		Reactance (50 Hz)		A.C. resistance at 90°C		
	Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Trefoil (ohm/km)	Flat (ohm/km)	Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Reactance (50 Hz) (ohm/km)
16					1.47	2.42	0.080
25					0.927	1.54	0.079
35					0.668	1.11	0.077
50	0.494	0.822	0.106	0.145	0.494	0.822	0.076
70	0.342	0.568	0.103	0.162	0.342	0.568	0.075
95	0.247	0.411	0.098	0.157	0.247	0.411	0.073
120	0.197	0.325	0.096	0.155	0.197	0.325	0.073
150	0.160	0.265	0.097	0.156	0.160	0.265	0.073
185	0.126	0.211	0.096	0.155	0.128	0.211	0.073
240	0.0986	0.162	0.092	0.151	0.0989	0.162	0.073
300	0.0800	0.130	0.090	0.149	0.0802	0.136	0.072
400	0.0640		0.090	0.145			
500	0.0525		0.059	0.146			
630	0.0425		0.056	0.144			

*aluminium wire armoured
†twice cable diameter spacing between centres

جدول ٢ ـ ٤ الخواص الكهربية. كابل معزول XLPE جهد ٣،٣/١،٩ ك ف مسلح

(IEC - 287)

Conductor size (mm^2)	Single-core cables* A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	Single-core cables* A.C. resistance at 90°C Aluminium (ohm/km)	Single-core cables* Reactance (50 Hz) Trefoil (ohm/km)	Single-core cables* Reactance (50 Hz) Flat† (ohm/km)	Single-core cables* Capacitance (μF/km)	3-core cables A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	3-core cables A.C. resistance at 90°C Aluminium (ohm/km)	3-core cables Reactance (50 Hz) (ohm/km)	3-core cables Capacitance (μF/km)
16						1.47	2.42	0.104	0.18
25						0.927	1.54	0.095	0.22
35						0.668	1.11	0.092	0.25
50	0.494	0.822	0.116	0.172	0.31	0.494	0.822	0.088	0.27
70	0.342	0.568	0.110	0.165	0.36	0.342	0.568	0.084	0.31
95	0.247	0.411	0.104	0.160	0.42	0.247	0.411	0.081	0.35
120	0.197	0.325	0.104	0.159	0.45	0.197	0.325	0.079	0.38
150	0.160	0.265	0.100	0.156	0.49	0.160	0.265	0.077	0.42
185	0.128	0.211	0.098	0.154	0.54	0.128	0.211	0.076	0.46
240	0.986	0.162	0.094	0.150	0.61	0.0980	0.162	0.074	0.51
300	0.800	0.130	0.091	0.147	0.68	0.0802	0.130	0.073	0.53
400	0.640		0.090	0.147	0.77				
500	0.525		0.089	0.145	0.80				
630	0.428		0.086	0.143	0.84				

*aluminium wire armoured

†twice cable diameter spacing between centres

جـدول ٢ ـ ٥ الخواص الكهـربية. كـابل معـزول XLPE جهد ٦,٦/٣,٨ و ١١/٦,٣٥ ك.ف (IEC. - 287)

Conductor size (mm^2)	Single-core cables* A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Reactance (50 Hz) Trefoil (ohm/km)	Flat[3] (ohm/km)	Capacitance (μF/km)	3-core cables A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Reactance (50 Hz) (ohm/km)	Capacitance (μF/km)
3.8/6.6 kV cables									
16						1.47	2.45	0.126	0.26
25						0.927	1.54	0.117	0.30
35						0.668	1.11	0.109	0.33
50	0.493	0.822	0.127	0.181	0.35	0.493	0.822	0.105	0.36
70	0.343	0.568	0.120	0.174	0.39	0.343	0.568	0.100	0.41
95	0.255	0.411	0.113	0.167	0.44	0.255	0.411	0.095	0.46
120	0.196	0.325	0.109	0.162	0.48	0.196	0.325	0.092	0.50
150	0.159	0.265	0.106	0.159	0.52	0.159	0.265	0.090	0.55
185	0.128	0.211	0.103	0.156	0.57	0.128	0.211	0.087	0.60
240	0.0980	0.162	0.099	0.153	0.62	0.0986	0.162	0.085	0.65
300	0.0791	0.130	0.097	0.151	0.64	0.0798	0.130	0.084	0.67
400	0.0630	0.102	0.094	0.149	0.67	0.0641	0.102	0.082	0.70
500	0.0514	0.0816	0.092	0.147	0.70				
630	0.0417	0.0647	0.089	0.144	0.78				
800		0.0523	0.085	0.144	0.81				

[illegible]	[illegible]				
800		0.0523	0.085	0.144	[illegible]

6.35/11 kV cables

16						1.47	2.45	0.134	0.21
25						0.927	1.54	0.124	0.24
35						0.668	1.11	0.116	0.26
50	0.493	0.821	0.131	0.185	0.27	0.493	0.822	0.111	0.28
70	0.342	0.569	0.124	0.177	0.31	0.342	0.568	0.106	0.32
95	0.255	0.410	0.117	0.171	0.34	0.255	0.410	0.100	0.36
120	0.196	0.325	0.113	0.166	0.37	0.196	0.325	0.097	0.39
150	0.159	0.265	0.110	0.163	0.40	0.159	0.265	0.094	0.42
185	0.128	0.211	0.105	0.160	0.44	0.128	0.211	0.092	0.46
240	0.0980	0.161	0.102	0.156	0.49	0.0984	0.161	0.089	0.51
300	0.0790	0.130	0.100	0.153	0.54	0.0797	0.130	0.086	0.56
400	0.0629	0.102	0.096	0.150	0.59	0.0639	0.102	0.083	0.62
500	0.0514	0.0816	0.093	0.147	0.66				
630	0.0416	0.0647	0.089	0.145	0.74				
800		0.0523		0.144	0.86				

* copper wire screened, unarmoured

† twice cable diameter spacing between centres

جدول ٢ ـ ٦ الخواص الكهربية. كابل معزول XLPE جهد ٨,٧/١٥ و ١٢,٧/٢٢ ك.ف

(IEC - 287)

Conductor size (mm^2)	Single-core cables* A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Reactance (50 Hz) Trefoil (ohm/km)	Flat[1] (ohm/km)	Capacitance (μF/km)	3-core cables A.C. resistance at 90°C Copper (ohm/km)	Aluminium (ohm/km)	Reactance (50 Hz) (ohm/km)	Capacitance (μF/km)
8.7/15 kV cables									
16						1.47	2.45	0.143	0.17
25						0.927	1.54	0.132	0.19
35						0.668	1.11	0.124	0.21
50	0.493	0.822	0.137	0.190	0.22	0.493	0.822	0.118	0.23
70	0.343	0.568	0.129	0.183	0.25	0.343	0.563	0.112	0.26
95	0.255	0.410	0.122	0.174	0.27	0.255	0.410	0.106	0.29
120	0.196	0.325	0.117	0.171	0.29	0.196	0.325	0.102	0.31
150	0.159	0.264	0.115	0.168	0.32	0.159	0.264	0.100	0.34
185	0.128	0.211	0.111	0.164	0.34	0.128	0.211	0.097	0.37
240	0.0979	0.161	0.106	0.160	0.38	0.0982	0.161	0.093	0.41
300	0.0780	0.130	0.103	0.156	0.42	0.0794	0.130	0.090	0.45
400	0.0627	0.102	0.099	0.153	0.47	0.0636	0.102	0.087	0.50
500	0.0512	0.0814	0.096	0.151	0.51				
630	0.0414	0.0645	0.092	0.147	0.57				
800		0.0521	0.089	0.147	0.66				

[illegible] kV cables

16					
25					
35					
50	0.592	0.821	0.138	0.192	0.19
70	0.409	0.569	0.131	0.185	0.22
95	0.305	0.409	0.124	0.178	0.24
120	0.235	0.324	0.119	0.173	0.26
150	0.192	0.265	0.116	0.170	0.28
185	0.153	0.211	0.113	0.165	0.30
240	0.117	0.160	0.108	0.161	0.34
300	0.0945	0.129	0.104	0.158	0.37
400	0.0752	0.101	0.101	0.155	0.40
500	0.0612	0.0814	0.097	0.152	0.44
630	0.0495	0.0643	0.094	0.149	0.49
800		0.0519	0.089	0.148	0.56

*copper wire screened, unarmoured

†twice cable diameter spacing between centres

جدول ٢ ـ ٧ الخواص الكهربية. كابل معزول XLPE جهد ١٩/٣٣ ك.ف (IEC - 287)

Conductor size (mm^2)	Single-core cables*				
	A.C. resistance at 90°C		Reactance (50 Hz)		
	Copper (ohm/km)	Aluminum (ohm/km)	Trefoil (ohm/km)	Flat† (ohm/km)	Capacitance (μF/km)
70					
95	0.254	0.409	0.134	0.189	0.18
120	0.196	0.324	0.129	0.184	0.19
150	0.160	0.264	0.125	0.178	0.21
185	0.127	0.211	0.121	0.174	0.22
240	0.0977	0.160	0.116	0.169	0.25
300	0.0785	0.129	0.112	0.166	0.27
400	0.0624	0.101	0.107	0.162	0.29
500	0.0505	0.0812	0.104	0.158	0.32
630	0.0409	0.0646	0.099	0.155	0.35

*copper wire screened, unarmoured

†twice cable diameter spacing between centres

جدول ٢ ـ ٨ قيم نمطية للمعاوقة بالمائة للمحولات أحادية الطور (٥٠ هرتز) (حتى ٣٣ ك.ف جهد عالٍ)

المقنن ك.ف.أ	المعاوقة ٪	النسبة $\frac{X}{R}$
من ٥ إلى ١٢٥	٤,٥	٣
من ١٥٠ إلى ٥٠٠	٤,٧٥	٣,٥
من ٧٥٠ إلى ١٠٠٠	٥,٥	٥,٥
أعلى من ١٠٠٠ حتى ٢٠٠٠	٦	٦
أعلى من ٢٠٠٠	٧	٧

جدول ٢ ـ ٩ قيم نمطية للمعاوقة بالمائة للمحولات ثلاثية الأطوار (٥٠ هرتز) (توصيل نجمة أو دلتا على أي جانب)

الجهد العالي ك.ف / المقنن ك.ف.أ	٣,٣	٦,٦	١١	٣٣	٦٦
٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٦,٠	
٧,٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥,٢٥	
١٠ ـ ١٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	
٢٠ ـ ٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٥	
١٠٠ ـ ٢٠٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥,٠	٥,٥
٢٥٠ ـ ٤٠٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥,٠	٥,٥
٦٠٠ ـ ١٠٠٠	٤,٧٥	٤,٧٥	٤,٧٥	٥,٠	٦,٠
١٢٥٠		٥,٠	٥,٠	٥,٠	٦,٥
١٥٠٠		٥,٥	٥,٥	٦,٠	٧,٠
٢٠٠٠		٦,٠	٦,٠	٦,٠	٧,٠
٢٥٠٠		٦,٠	٦,٠	٦,٠	٧,٠
٣٠٠٠		٦,٠	٦,٠	٧,٠	٧,٥
٤٠٠٠			٦,٠	٧,٠	٧,٥
٥٠٠٠			٦,٠	٧,٠	٧,٥
٦٠٠٠			٧,٠	٧,٥	٨,٠
٧٥٠٠			٧,٠	٨,٠	٨,٥
١٠٠٠٠				٩,٠	٩,٠
١٢٥٠٠				٩,٠	٩,٠
١٥ ٠٠٠				١٠,٠	١٠,٠
٢ ٠٠٠٠				١٠,٠	١٠,٠
٢٥ ٠٠٠				١٠,٠	١٠,٠
٣٠ ٠٠٠				١٠,٠	١٠,٠

جدول ٢ ـ ١٠ قيم نمطية لمفاعلات المولدات والمحركات بالمائة

الآلــة	X''_d	X'_d
المولدات التوربينية	٧,٥ ـ ١٢,٥	١٢,٥ ـ ٢٠
المولدات الهيدروليكية	١٣ ـ ١٧,٥	٢٧,٥
المحركات المتزامنة	١٢,٥ ـ ١٧,٥	١٩ ـ ٢٥
المكثفات المتزامنة	٢٠	٣١
المحركات الحثية (جهد أعلى من ٦٠٠ ڤولت)	١٤	
المحركات الحثية (جهد ٦٠٠ ڤولت وأقل)	١٦	

جدول ٢ ـ ١١ قيم تقريبية لمفاعلات محولات التيار (أوم لكل طور)

مقنن التيار الابتدائي (أمبير)	مقنن الجهد (ڤولت)		
	٦٠٠ ـ ٥٠٠٠	٧٥٠٠	١٥٠٠٠
١٠٠ ـ ٢٠٠	٠,٠٠١٨	٠,٠٠٣٣	
٢٥٠ ـ ٤٠٠	٠,٠٠٠٤	٠,٠٠٠٦٦	٠,٠٠٠١٦
٥٠٠ ـ ٨٠٠	٠,٠٠٠١٦	٠,٠٠٠٢٥	٠,٠٠٠٠٦
١٠٠٠ ـ ٤٠٠٠	٠,٠٠٠٠٦	٠,٠٠٠٠٦	٠,٠٠٠٠٦

جدول ٢ ـ ١٢ قيم نمطية لمفاعلات مفاتيح فصل الحمل بالأوم

حجم المفتاح (أمبير)	المفاعلة (أوم)
٢٠٠	٠,٠٠٠٠٨٣
٤٠٠	٠,٠٠٠٠٦٦
٦٠٠	٠,٠٠٠٠٦٦
٨٠٠	٠,٠٠٠٠٥٨
١٢٠٠	٠,٠٠٠٠٥٨
١٦٠٠	٠,٠٠٠٠٤١
٢٠٠٠	٠,٠٠٠٠٤١
٣٠٠٠	٠,٠٠٠٠٣٣
٤٠٠٠	٠,٠٠٠٠٣٣

جدول ٢ ـ ١٣ قيم نمطية لمفاعلات قواطع الدائرة (قواطع قوى ذات جهد منخفض) بالأوم

مقنن القطع (أمبير)	مقنن التيار (أمبير)	المفاعلة (أوم)
١٥ ٠٠٠	١٥ ـ ٣٥	٠,٠٣٣
١٥ ٠٠٠	٥٠ ـ ١٠٠	٠,٠٠٣٣
٢٥ ٠٠٠	١٢٥ ـ ٢٢٥	٠,٠٠٠٨٣
٢٥ ٠٠٠	٢٥٠ ـ ٦٠٠	٠,٠٠٠١٦٦
٥٠ ٠٠٠	٢٠٠ ـ ٨٠٠	٠,٠٠٠١٦٦
٥٠ ٠٠٠	١٠٠٠ ـ ١٦٠٠	٠,٠٠٠٠٦
٧٥ ٠٠٠	٢٠٠٠ ـ ٣٠٠٠	٠,٠٠٠٠٦٦
١٠٠ ٠٠٠	٤٠٠٠	٠,٠٠٠٠٦٦

جدول ٢ ـ ١٤ قيم نمطية لمعاوقات قواطع الدائرة (قواطع ذات صندوق مشكل جهد منخفض) بالأوم

مقنن التيار (أمبير)	المقاومة (أوم)	المفاعلة (أوم)
٢٠	٠,٠٠٧٠٠	مهملة
٤٠	٠,٠٠٢٤٠	مهملة
١٠٠	٠,٠٠٢٠	٠,٠٠٠٠٦
٢٢٥	٠,٠٠٠٣٥	٠,٠٠٠١٦٦
٤٠٠	٠,٠٠٠٣١	٠,٠٠٠٣٢٥
٦٠٠	٠,٠٠٠٠٧	٠,٠٠٠١٤١

جدول ٢ ـ ١٥ قيم نمطية لمعاوقات القضبان السلبية ذات المقابس (plug-in busway) بالأوم لكل ١٠٠ متر لكل طور

مقنن التيار (أمبير)	قضبان نحاس		قضبا ألومنيوم	
	R	X	R	X
٢٢٥	٠,٠٢٧٣	٠,٢١٨٠	٠,٠٣٥٦	٠,٠١٩٦
٤٠٠	٠,٠١٤٣	٠,٠٠٦٣	٠,٠١٧٩	٠,٠٠٦٠
٦٠٠	٠,٠١١٥	٠,٠٠٤٩	٠,٠٠٩٤	٠,٠٠٣٣
٨٠٠	٠,٠٠٧١	٠,٠٠٣٧	٠,٠٠٧٩	٠,٠٠٤٢
١٠٠٠	٠,٠٠٤٧	٠,٠٠٣٧	—	—

جدول ٢ - ١٦ قيم نمطية لمعاوقات القضبان السبيلية ذات المعاوقة المنخفضة (low-impedance feeder busway) بالأوم لكل ١٠٠ متر لكل طور

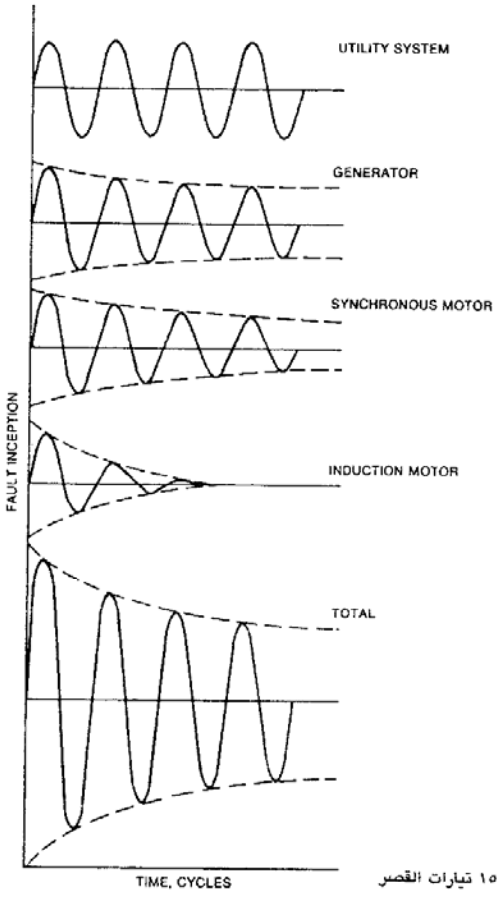
مقنن التيار (أمبير)	R	X
٨٠٠	٠,٠٠٧١٦	٠,٠٠٢٣٠
١٠٠٠	٠,٠٠٦٢١	٠,٠٠١٣٦
١٣٥٠	٠,٠٠٤١٠	٠,٠٠١٢٠
١٦٠٠	٠,٠٠٣٧٩	٠,٠٠٩٥٠
٢٠٠٠	٠,٠٠٢٤٥	٠,٠٠٠٨٥
٢٥٠٠	٠,٠٠١٨٦	٠,٠٠٠٦٨
٣٠٠٠	٠,٠٠١٧٩	٠,٠٠٠٤٦
٤٠٠٠	٠,٠٠١٣١	٠,٠٠٠٤٣

جدول ٢ - ١٧ قيم نمطية لمعاوقات القضبان السبيلية المحددة للتيار (Current-limiting busway) بالأوم لكل ١٠٠ متر لكل طور

مقنن التيار (أمبير)	R	X
١٠٠٠	٠,٠٠٤٢٥	٠,٠١٧٢
١٣٥٠	٠,٠٠٣٩٠	٠,٠١٦٦
١٦٠٠	٠,٠٠٢٩٠	٠,٠١٥٣
٢٠٠٠	٠,٠٠٢٢٨	٠,٠١٤٢
٢٥٠٠	٠,٠٠١٩٦	٠,٠١٣٤
٣٠٠٠	٠,٠٠١٦٣	٠,٠١٣٣
٤٠٠٠	٠,٠٠١٣١	٠,٠١١٥

٢ ـ ٣ عامل اللاتماثل:

تتم جميع حسابات قصر الدائرة على فرض أن تيارات التغذية كلها متماثلة (ليس بها مركبة تيار ثابت). ويكون تيار القصر الكلي هو مجموع تلك التيارات كلها كما هو موضح بالشكل ٢ ـ ١٥. ولقد تبين لنا أهمية اعتبار مركبة التيار الثابت عند حساب تيارات القصر، حيث يمكن أن ترفع من قيمة التيار المتماثل الإبتدائية إلى حوالي الضعف.



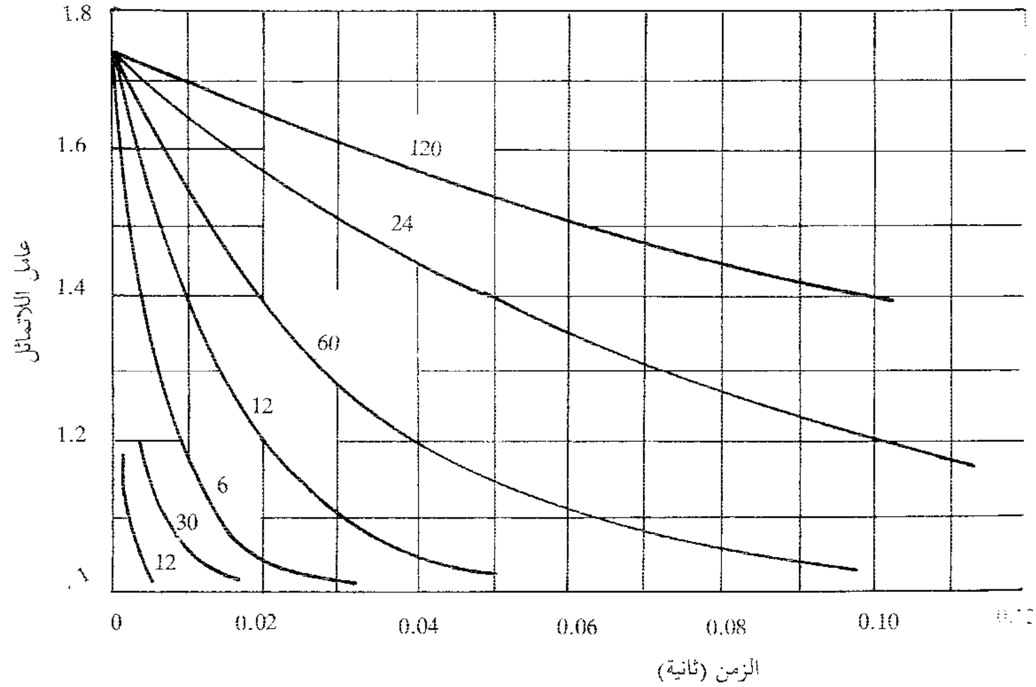
شكل ٢ ـ ١٥ تيارات القصر

إن عملية حساب التيار غير المتماثل عملية مطولة ومعقدة وقد تكون مستحيلة من وجهة النظر العملية. وعلى ذلك فقد اتفق المهندسون على أن تقدير قيمة التيار غير المتماثل يتم على خطوتين متتابعتين هما:

i - حساب تيار القصر المتماثل (بدون مركبة التيار المستمر).

ii - ضرب قيمة تيار القصر المتماثل في عامل يعرف باسم عامل اللاتماثل Assymetry factor. تعتمد قيمة عامل اللاتماثل على النسبة ($\frac{X''}{R}$) وعلى زمن فتح الدائرة.

إن أهمية حساب تيار القصر غير المتماثل تنبع من أن قدرة قطع تيار القصر Interrupting capacity لقواطع الدائرة والمصهرات ترتبط بقيمة هذا التيار. يعطي شكل ٢ - ١٦ منحنيات يمكن استخدامها لتحديد عامل اللاتماثل بعد معرفة النسبة ($\frac{X''}{R}$) وزمن القطع.



شكل ٢ - ١٦ تغير عامل اللاتماثل مع الزمن
(الرقم على المنحنى يعطي النسبة $\frac{X''}{R}$ المستخدمة)

٢ ـ ٤ اختيار مفاعلات المولدات والمحركات:

يتم اختيار مفاعلات المولدات والمحركات في دوائر القصر المكافئة تبعاً للزمن المنقضي من لحظة القصر حتى لحظة قطع الدائرة. يتم في هذا المجال تعريف قيمتين لتيار القصر.

i ـ التيار الفوري Momentary S.C. Current وهي قيمة التيار الذروية في نصف الدورة الأولى من تيار القصر. والقيمة الفعالة للتيار الفوري هي قسمة القيمة الذروية على $\sqrt{٢}$. يتم حساب التيار الفوري بأخذ جميع مفاعلات مصادر التيار دون العابرة في الاعتبار. ويمكن على وجه العموم اختيار عامل لاتماثل من ١,٥ إلى ١,٦ في شبكات الجهد المتوسط والعالي وحوالي ١,٢٥ في شبكات الجهد المنخفض.

ii ـ تيار القطع Interrupting current وهي قيمة تيار القصر لحظة فتح تلامسات قاطع الدائرة. يمكن لقاطع الدائرة (حسب نوعه وضبطه) أن يفتح بعد ثلاث أو أربع أو ثمان دورات.

يتم اختيار المفاعلات تبعاً لما يأتي:

أولاً : إذا كان زمن الفتح أقل من دورتين (كما في دوائر الجهد المنخفض عادة) تمثل جميع المولدات والمحركات بمفاعلتها دون العابرة.

ثانياً : إذا كان زمن الفتح من دورتين وحتى ٨ دورات (كما في دوائر الجهد المتوسط عادة) تستخدم المفاعلات دون العابرة للمولدات والمكثفات المتزامنة والمفاعلات العابرة للمحركات المتزامنة ويهمل تأثير المحركات الحثية.

ثالثاً : يمكن إهمال تأثير المحرك الحثي إذا كانت قيمة تياره المقنن (أو قيمة مجموع التيارات المقننة في حالة وجود مجموعة من المحركات على نفس القضيب) أقل من ١٪ من قيمة تيار القصر المحسوب بدون أخذ المحرك في الاعتبار.

رابعاً : أكبر قيمة لتيار القصر بالنسبة لمحرك حثي تساوي تقريباً خمسة أمثال تيار الحمل الكامل المقنن للمحرك. والقيمة الذروية لتيار القصر غير المتماثل هي ضعف القيمة الفعالة لأكبر تيار قصر، أي عشرة أمثال

تيار الحمل الكامل المقنن للمحرك. وفي حالة وجود أكثر من محرك على نفس القضيب يستبدل التيار المقنن بمجموع التيارات المقننة لجميع المحركات.

يعطي الجدول ٢ ـ ١٨ طريقة اختيار المفاعلات ومعاملات اللاتماثل في الحالات المختلفة.

جدول ٢ ـ ١٨ مفاعلات الآلات وعوامل اللاتماثل (للحسابات البسيطة)

نوع جهاز القطع وزمنه	مفاعلة الآلة المستخدمة			عامل اللاتماثل	
	مولدات متزامنة	محركات متزامنة	محركات حثية	حالة عامة	حالة خاصة
قواطع قوى عند زمن					
٨ دورات	دون العابرة	العابرة	مهملة	١,٠	١,١ (أ)
٥ دورات	دون العابرة	العابرة	مهملة	١,١	١,٢ (أ)
٣ دورات	دون العابرة	العابرة	مهملة	١,٢	١,٣ (أ)
دورتين	دون العابرة	العابرة	مهملة	١,٤	١,٥ (أ)
قواطع قوى جهد منخفض	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٠ (ب)	–
قواطع ذات صندوق مشكل	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٠	–
مصهرات جهد عال	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٦	١,٢ (جـ)
مصهرات جهد منخفض	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٠ (د)	–
متحكمات محركات جهد منخفض	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٢٥	–
قواطع قوى فورية	دون العابرة	دون العابرة	دون العابرة	١,٦	١,٥ (هـ)

(أ) تستخدم فقط إذا تجاوز القصر المتماثل ٥٠٠ م.ف.أ والشبكة مغذاة أساساً من مولد متصل بها مباشرة أو من خلال مفاعلات حد التيار.

(ب) إذا كانت النسبة (X/R) تساوي أو أقل من ٥,٥. وللنسبة (X/R) الأكبر من ذلك والأقل من ١٠ استخدم ١,٢٥.

(جـ) تستخدم فقط للمصهر غير المحددة للتيار والنسبة (X/R) أقل من ٤.

(د) عند استخدام مصهرات محددة التيار.

(هـ) تستخدم فقط للدوائر على الجهد ٥ ك.ف أو أقل والشبكة ليست مغذاة أساساً من مولد متصل بها مباشرة أو من خلال مفاعلات حد التيار.

٢ ـ ٥ نظام الوحدة Per-unit method:

يعتمد حساب تيار القصر أساساً على حساب المعاوقة المكافئة بين مصادر الجهد المغذية للتيار (والتي سوف نعتبرها موصلة على التوازي كما سبق بيانه في البند ٢ ـ ٢) وبين نقطة الخطأ. ويتم عادة إهمال المقاومات إذا قلت قيمتها عن ربع قيمة المفاعلات، وهو ما يكون دائماً سليماً في دوائر الجهد المتوسط والعالي. أما في دوائر الجهد المنخفض فلا يمكن إهمال تأثير المقاومات.

يتم التعبير عن مفاعلات عناصر الدائرة عادة بثلاث طرق مختلفة.

أ ـ التعبير عن المفاعلة بالوحدة الفعلية (الأوم).
ب ـ التعبير عن المفاعلة كنسبة مئوية من مفاعلة أخرى تسمى مفاعلة الأساس.
جـ ـ التعبير عن المفاعلة كعدد من وحدات مفاعلة أخرى تسمى مفاعلة الأساس، وهو ما يعرف باسم التعبير بالوحدة per-unit.

يلجأ المهندسون في كثير من الحالات إلى نظام الوحدة لما له من بعض الميزات وخاصة في مجال حسابات قصر الدائرة. أهم تلك الميزات ما يأتي:

i ـ تسهيل عمليات المقارنة بين الكميات المختلفة، حيث تُنسب جميع الكميات إلى كمية واحدة هي كمية الأساس base value.
ii ـ تسهيل حل الشبكات التي تعمل على أكثر من جهد نتيجة لوجود محولات بها، حيث تنسب جميع الجهود إلى جهد الأساس بحيث تنعدم الحاجة إلى عمليات التحويل المعروفة والمرتبطة بمعادلات المحولات وطريقة تشغيلها.

يتم بناء نظام حساب الوحدة للشبكات التي تعمل على جهد واحد (بدون محولات) أو تلك التي تعمل على أكثر من جهد (بها محول أو أكثر) بطريقة واحدة تبعاً للخطوات التالية:

i ـ يتم اختيار جهد معين يسمى جهد الأساس base voltage (V_b)، ويفضل ـ بصورة اختيارية ـ اختيار الجهد الأكثر تكراراً في الشبكة.

ii ـ يتم اختيار قدرة مركبة تسمى ڤولت ـ أمبير الأساس $(VA)_b$، ويمكن أن تكون بالميجاڤولت أمبير $(MVA)_b$. ويفضل أن تساوي مقنن أكبر محول في الشبكة.

iii ـ نحسب بعد ذلك تيار الأساس (I_b) ومفاعلة الأساس (X_b) من العلاقتين

$$I_b = \frac{(VA)_b}{\sqrt{3}\, V_b} \text{ amperes} \quad (10\text{-}2)$$

$$X_b = \frac{V_b}{\sqrt{3}\, I_b} = \frac{V_b^2}{(VA)_b} \quad (11\text{-}2)$$

$$X_b = \frac{(KV)_b^2}{(MVA)_b} \text{ Ohms} \quad (12\text{-}2)$$

حيث $(KV)_b$ هو جهد الخط بالكيلوڤولت و $(MVA)_b$ القدرة المركبة الكلية في الدوائر ثلاثية الأطوار.

iv ـ يتم بعد ذلك تحويل جميع كميات الدائرة الفعلية (act) إلى كميات بالوحدة (p.u.) كما يأتي

$$V_{p.u.} = \frac{V_{act}}{V_b} \text{ p.u.} \quad (13\text{-}2)$$

$$I_{p.u.} = \frac{I_{act}}{I_b} \text{ p.u.} \quad (14\text{-}2)$$

$$X_{p.u.} = \frac{X\,(\Omega)}{X_b}$$

$$= X_{act} \div \frac{(KV)_b^2}{(MVA)_b}$$

$$X_{p.u.} = X(\Omega)\, \frac{(MVA)_b}{(KV)_b^2} \quad (15\text{-}2)$$

عند استعمال نظام الوحدة فإن الجهدين بالوحدة على جانبي المحول يكونان متساويين. فعلى سبيل التوضيح. إذا كان الجهد الابتدائي ١١ ك.ڤ والجهد الثانوي ٣٨٠ ڤولت فإن جهد الأساس على الجانب الابتدائي يؤخذ ١١ ك.ڤ وعلى الجانب الثانوي ٣٨٠ ڤولت. وينتج عن ذلك

$$V_{1p.u.} = V_{2p.u.} = 1 \text{ p.u.} \quad (16\text{-}2)$$

وتبعاً لذلك يصبح

$$I_{1p.u.} = I_{2p.u.} = 1 \text{ p.u.}$$

ونسبة تحويل المحول هي الوحدة، حيث

$$\frac{V_{1p.u.}}{V_{2p.u.}} = 1$$

كما أن مفاعلة المحول متساوية كذلك على الجانبين الابتدائي والثانوي.

للاستفادة بميزات نظام الوحدة وإمكانية تطبيقة بطريقة سليمة نلاحظ ما يلي:

١ ـ تُعطى المفاعلات بالأوم عادة للكابلات وقضبان التوزيع والخطوط والمفاتيح والقواطع. ويتم استخدام المعادلة (٢ ـ ١٥) لإيجاد مفاعلتها بالوحدة.

٢ ـ تُعطى مفاعلات المحولات والمولدات والمحركات عادة إما بالوحدة وإما بالمائة (القيمة بالمائة = ١٠٠ × القيمة بالوحدة)، وذلك على أساس أن ڤولت الأساس هو الڤولت المقنن للآلة (V_r) وكيلو ڤولت أمبيرالأساس هو كيلو ڤولت أمبير المقنن للآلة $(KVA)_r$. ويمكن تحويل تلك القيمة إلى قيمة منسوبة إلى قيم الأساس المختارة للشبكة باستعمال العلاقة

$$(X_{p.u.})_b = (X_{p.u.})_r \, \frac{(KVA)_b}{(KVA)_r} \quad (17\text{-}2)$$

فعلى سبيل المثال إذا كان كيلوڤولت ـ أمبير الأساس للشبكة هو

١٠٠٠٠ ك.ق.أ فإن القيمة بالوحدة لمفاعلة محول مقننه ١٠٠٠ ك.ق.أ ومفاعلته المئوية ٥,٧٥٪ على هذا المقنن تصبح:

$$X_{p.u.} = 5.75/100 = 0.0575 \text{ p.u. "on 1000 KVA"}$$

$$= \quad 0.0575 \times \frac{10000}{1000} = 0.575 \text{ p.u. "on 10000 KVA"}$$

٣ ـ تجدر الإشارة هنا إلى مقننات المحركات تعطى عادة بالحصان لمقنن الخرج output، حيث يكون دخل المحرك غير معلوم. يمكن استخدام ما يأتي على وجه التقريب.

i ـ بالنسبة للمحركات المتزامنة يؤخذ دخل المحرك بالكيلوڤولت أمبير = خرج المحرك إذا كان معامل القدرة = ٠,٨، ويؤخذ دخل المحرك بالكيلوڤولت أمبير = ٠,٨ من خرج المحرك إذا كان معامل القدرة = ١.

ii ـ بالنسبة للمحركات الحثية يؤخذ دخل المحرك بالكيلوڤولت أمبير = خرج المحرك دائماً.

٢ ـ ٦ طريقة حساب تيار القصر:

ذكرنا في البند ٢ ـ ٢ الفروض المناسبة المتبعة في حساب تيار قصر الدائرة والعوامل المختلفة المؤثرة على شكل ومقدار هذا التيار. نعطي في هذا البند الخطوات العامة المتبعة لحساب تيار القصر وهي كما يأتي على الترتيب:

(١) جهز مخطط الشبكة للخط الواحد Single-line diagram.

(٢) تخير كيلوڤولت أمبير أساس $(KVA)_b$ للشبكة وكذلك جهد الأساس على كل مستوى جهد موجود على جانبي أي محول $(KV)_b$.

(٣) حدد المعاوقات المستخدمة (أو المفاعلات).

(٤) ارسم مخطط المعاوقة (أو المفاعلة).

(٥) جمع المفاعلات لإيجاد المفاعلة المكافئة بين مصادر الجهد ونقطة الخطأ.

(٦) عين مقدار تيار القصر المتماثل.
(٧) عين مقدار تيار القصر غير المتماثل.

سوف نوضح كل خطوة من الخطوات السابقة بالتفصيل.

الخطوة الأولى: مخطط الخط الواحد هو رسم مخطط الشبكة موضحاً عليها جميع مصادر تيارات القصر المذكورة في البند ٢ ـ ٢ وكذلك جميع المفاعلات للأجهزة والآلات والموصلات الأخرى كالمحولات والكابلات والقضبان السبيلية والمفاعلات وقواطع الدائرة وغيرها.

الخطوة الثانية: تخير كيلوفولت أمبير أساس وكذلك جهد الأساس بغرض استخدام النظام بالوحدة في الحسابات. يفضل عادة اختيار مقنن أكبر محول في الشبكة لكي يعبر عن كيلوفولت أمبير الأساس. لاحظ أن هذه الكمية هي القدرة المركبة الكلية (للثلاثة أوجه). أما بالنسبة لجهد الأساس فإنه يؤخذ عادة مساوياً للجهد الإسمي للمحولات عند كل جانب من جوانب كل محول طالما أن المحولات تعمل على نسبة التحويل الإسمية.

الخطوة الثالثة: حدد المعاوقات (أو المفاعلات) المستخدمة. إن أفضل طريقة في هذا المجال هي الحصول على قيم هذه المفاعلات من الصانع. وفي حالة عدم توافر هذه القيم فيمكن استخدام الجداول من ٢ ـ ١ إلى ٢ ـ ١٧ الموجودة في هذا الباب. ويتم اختيار المفاعلات المستخدمة تبعاً لما هو مذكور في البند ٢ ـ ٤ ـ ٤. ويمكن كذلك استخدام البيانات الواردة في الجدول ٢ ـ ١٨.

الخطوة الرابعة: ارسم مخطط المعاوقة. يتم ذلك بتحويل مخطط الوجه الواحد إلى القيم بالوحدة المناظرة لقيم الأساس المختارة، مع استعمال المعادلتين (٢ ـ ١٥) و (٢ ـ ١٧). يتم عادة إهمال المقاومات في دوائر الجهد المتوسط والعالي حيث تزيد المفاعلة عن أربعة أمثال المقاومة. أما في دوائر الجهد المنخفض فإن اعتبار المقاومة أمر ضروري، حيث يؤدي إهمالها إلى الحصول على نتائج غير صحيحة وبعيدة إلى حد كبير عن الواقع.

الخطوة الخامسة: جمع المفاعلات للحصول على المفاعلة المكافئة.
يتم ذلك بطرق التجميع المعروفة وهي التجميع على التوالي والتجميع على التوازي والتحويل من توصيلة نجمة إلى توصيلة دلتا والتحويل من توصيلة دلتا إلى توصيلة نجمة. وقوانين التحويل من نجمة إلى دلتا وبالعكس معطاة على شكل ٢ ـ ١٧.

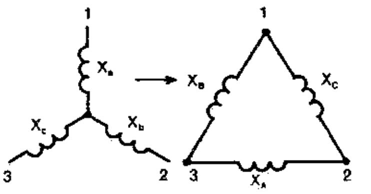
الخطوة السادسة: عين مقدار تيار القصر المتماثل كما يأتي (راجع بند ٢ ـ ٥).

$$\text{Sym } I_{S.C}\ (\text{p.u.}) = \frac{E(\text{p.u.})}{X_{S.C}(\text{p.u.})} \qquad (18\text{-}2)$$

$$\text{Sym } I_{S.C}\ (A) = \text{Sym } I_{S.C}\ (\text{p.u.}).I_b \quad \text{ampere} \qquad (19\text{-}2)$$

$$I_b = \frac{(KVA)_b}{\sqrt{3}\,(KV)_b} \quad \text{amperes} \qquad (20\text{-}2)$$

$$\text{Sym } (KVA)_{S.C} = \frac{(KVA)_b}{X_{S.C}\ (\text{p.u.})} \quad KVA \qquad (21\text{-}2)$$

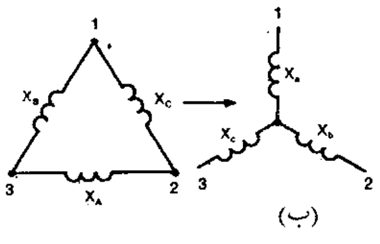


$$X_A = \frac{X_bX_c}{X_c} + X_b + X_c$$

$$X_B = \frac{X_cX_c}{X_b} + X_a + X_c$$

$$X_C = \frac{X_cX_b}{X_c} + X_c + X_c$$

(أ)



$$X_a = \frac{X_BX_C}{X_A + X_B + X_C}$$

$$X_b = \frac{X_AX_C}{X_A + X_B + X_C}$$

$$X_c = \frac{X_AX_B}{X_A + X_B + X_C}$$

(ب)

شكل (٢ ـ ١٧)

أ ـ التحويل من نجمة إلى دلتا.
ب ـ التحويل من دلتا إلى نجمة.

حيث:

$E(p.u.)$: جهد المنظومة بالوحدة. وهو يساوي النسبة بين جهد الشبكة وجهد الأساس، ويساوي (١) دائماً عند اختيار جهد الأساس مساوياً لجهد الشبكة.

$X_{s.c}(p.u.)$: المفاعلة المكافئة بالوحدة بين مصدر الجهد ونقطة الخطأ.

$Sym\ I_{s.c}(p.u.)$: تيار القصر المتماثل بالوحدة.

$Sym\ I_{s.c}(A)$: تيار القصر المتماثل الفعلي بالأمبير.

I_b: تيار الأساس، وهو يعتمد على قيمة جهد الأساس في موضع حدوث الخطأ.

$Sym\ (KVA)_{s.c}$: كيلوڤولت أمبير القصر المتماثل الفعلي بالكيلوڤولت أمبير.

الخطوة السابعة: عين مقدار تيار القصر غير المتماثل. يتم ذلك عن طريق ضرب مقدار تيار القصر المتماثل في عامل اللاتماثل الذي يمكن استخراجه إما من شكل ٢ ـ ١٥ أو من الجدول ٢ ـ ١٨.

٢ ـ ٧ أمثلة توضيحية:

نعطي في هذا البند بعض الأمثلة البسيطة لتوضيح أهم النقاط الواردة في هذا الباب والتي سوف تعتمد عليها في المثال التطبيقي الوارد في البند ٢ ـ ٨.

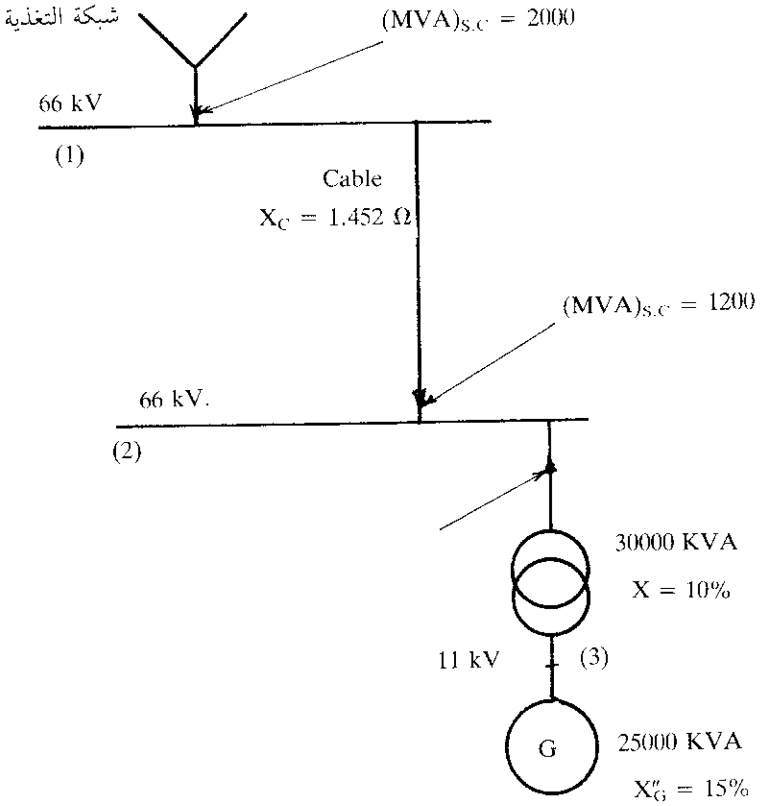
مثال ٢ ـ ٢:

بالإشارة إلى مثال ٢ ـ ١ الوارد في البند ٢ ـ ١ ـ ١ ـ ١. نفرض أن جهد قضيبي التوزيع (1) و (2) هو ٦٦ ك. ڤ. إذا دعت ظروف التشغيل إلى إضافة مولد على القضيب (2) ذي قدرة مقننة ٢٥٠٠٠ ك. ڤ. أ وبمفاعلة دون العابرة مقدارها ١٥٪. جهد المولد المقنن ١١ ك. ڤ، وتم التوصيل بواسطة محول ٦٦/١١ ك. ڤ ذي مفاعلة ١٠٪ وبمقنن قدرة ٣٠٠٠٠ ك. ڤ. أ، فالمطلوب تعيين منسوب القصر الجديد عند مدخل الشبكة المحلية على قضيب التوزيع (2).

يمكن حل هذا المثال بإحدى طريقتين كما يأتي :

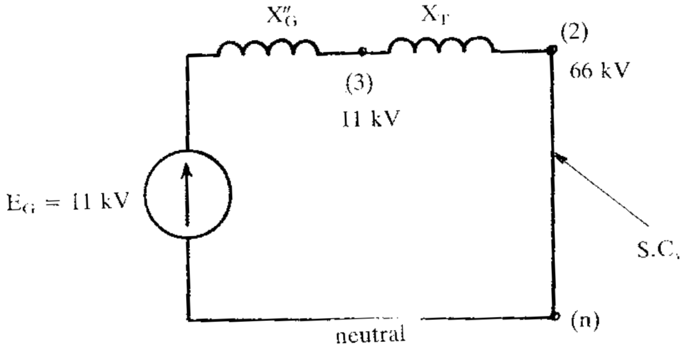
الطريقة الأولى: حساب قيمة منسوب القصر الناشىء عن إضافة المولد جديد فقط، ثم جمع هذه القيمة على قيمة منسوب القصر قبل توصيل المولد على القضيب (2) وذلك عن طريق استخدام مبدأ التجميع التركيبي . Super positi...

يبين الشكل ٢ ـ ١٨ مخطط الوجه الواحد للشبكة كلها، ويبين



شكل ٢ ـ ١٨ مخطط الخط الواحد. مثال ٢ ـ ٢

الشكل ٢ ـ ١٩ مخطط الدائرة المكـافئة للمـولد والمحـول فقط. ولكي يمكن الاستفادة من هذه الدائرة يجب تجهيز جميع القيم الموجودة فيها بالوحدة.



شكل ٢ ـ ١٩ الدائرة المكافئة للمولد والمحول قبل التعديل (شكل ٢ ـ ١٨)

ـ نختار ك.ڤ.أ أساس = ٣٠٠٠٠ (مقنن أكبر محول في الدائرة).
ـ نختار جهد الأساس كما يلي:
١١ ك.ڤ على أطراف المولد.
٦٦ ك.ڤ على القضيب (2).
ـ نحسب مفاعلة المولد X''_G بالوحدة من المعادلة (٢ ـ ١٧)

$$X''_G = \frac{15}{100} \cdot \frac{30000}{25000} = 0.18 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة المحول تظل دون تغيير.

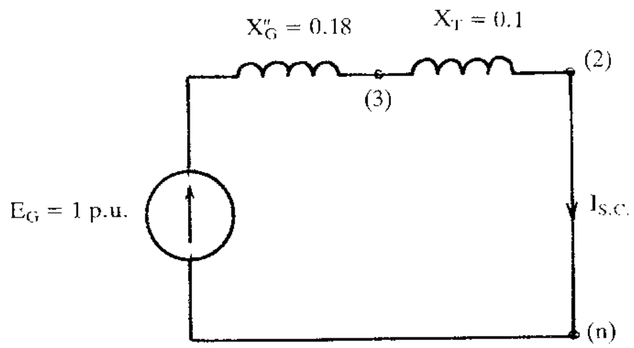
يصبح مخطط دائرة المفاعلة المكـافئة كمـا هو مبين بـالشكل ٢ ـ ٢٠. يمثل الخط (2) - (n) حدوث قصر الدائرة على قضيب التوزيع (2).

ـ المفاعلة المكافئة للدائرة هي:

$$X_{S.C}(\text{p.u.}) = 0.18 + 0.1 = 0.28 \text{ p.u.}$$

ـ تيار القصر المتماثل بالوحدة هو

$$\text{Sym } I_{S.C}(\text{p.u.}) = \frac{E(\text{p.u.})}{X_{S.C}(\text{p.u.})} = \frac{1}{0.28} = 3.571 \text{ p.u.}$$



شكل ٢ ـ ٢٠ الدائرة المكافئة للمولد والمحول بنظام الوحدة (شكل ٢ ـ ١٨)

ـ منسوب القصر بالكيلوفولت أمبير هو (المعادلة ٢ ـ ٢١)

$$\text{Sym (KVA)}_{s.c} = \frac{30000}{0.28} = 107142.8 \text{ KVA}$$
$$= 107.2 \text{ MVA.}$$

ـ منسوب القصر الكلي (من شبكة التغذية والمولد) هو

$$\text{Total Sym (MVA)}_{s.c} = 1200 + 107.2 = 1307.2 \text{ MVA}$$

الطريقة الثانية: يمكن حل المسألة خطوة واحدة برسم مخطط المفاعلة بالوحدة لمخطط الخط الواحد كاملاً وتمثيل القصر بالتوصيل بين (2) و (n) ثم إيجاد تيار القصر ومنسوب القصر.

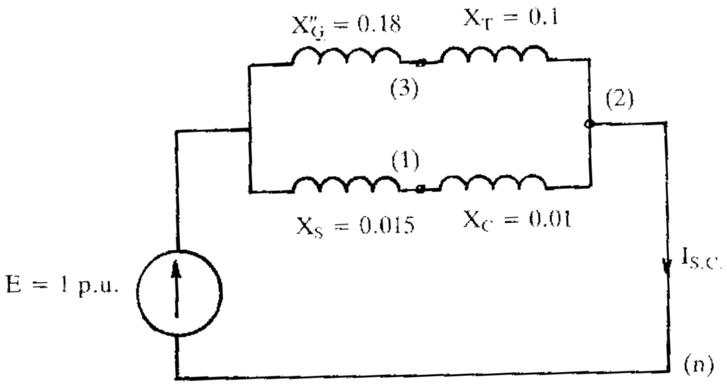
يبين الشكل ٢ ـ ٢١ الدائرة المكافئة للشبكة. وباختصار هذه الدائرة نحصل على مفاعلة الدائرة المكافئة للقصر، حيث X_S هي مفاعلة شبكة التغذية بالوحدة و X_C مفاعلة الخط (1) - (2).

ـ نوجد X_S من المعادلة (٢ ـ ٢١)

$$X_S \text{ (p.u.)} = \frac{30}{2000} = 0.015 \text{ p.u.}$$

ـ نوجد X_C من المعادلة (٢ ـ ١٥)

$$X_C \text{ (p.u.)} = 1.452 \frac{30}{(66)^2} = 0.01 \text{ p.u.}$$



شكل ٢ ـ ٢١ الدائرة المكافئة بنظام الوحدة لمخطط الخط الواحد (شكل ٢ ـ ١٨)

ـ المفاعلة المكافئة للدائرة هي

$$X_{s.c}\ (p.u.) = \frac{(0.18 + 0.1)\ (0.015 + 0.01)}{(0.18 + 0.1) + (0.015 + 0.01)} = 0.02295\ p.u.$$

ـ منسوب القصر بالميجاڤولت أمبير هو

$$Sym\ (MVA)_{s.c} = \frac{30}{0.02295} = 1307.2\ MVA.$$

وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها من الطريقة الأولى.

مثال ٢ ـ ٣:

الشكل ٢ ـ ٢٢ يبين مخطط الخط الواحد لجزء من شبكة صناعية، حيث يتم تغذية ٨ محركات حثية بواسطة شبكة التغذية العامة من خلال محول وكابلين على التوازي. المطلوب تعيين أكبر وأقل تيار قصر عند F.

نختار كيلوڤولت أمبير أساس هو

$$(KVA)_b = 20000\ KVA$$

ثم نحسب جميع المفاعلات بالوحدة على هذا الأساس.

ـ مفاعلة شبكة التغذية

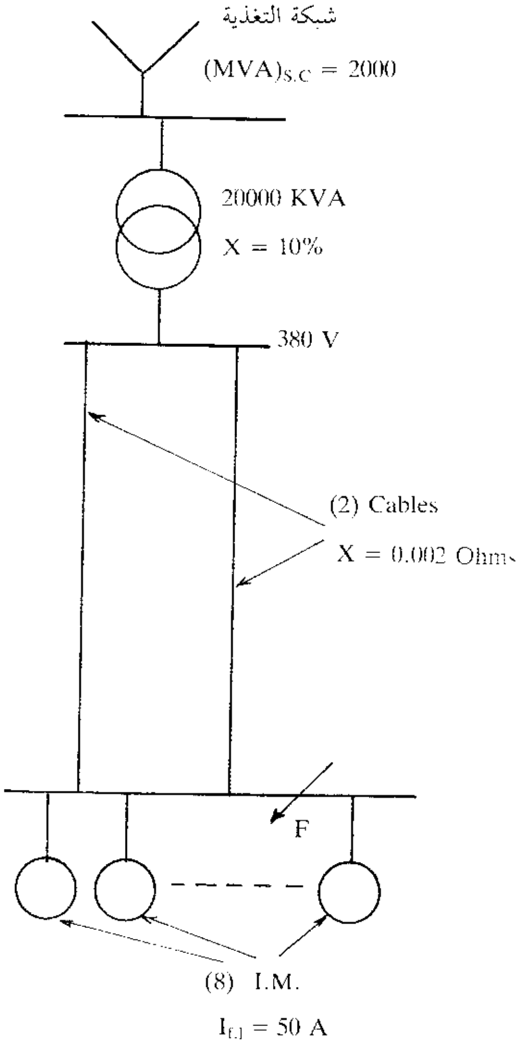
$$X_S = \frac{20000}{200000} = 0.1\ p.u.$$

ـ مفاعلة المحول

$$X_T = \frac{10}{100} = 0.1 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة الكابل

$$X_C = 0.002 \times \frac{20}{(0.38)^2} = 0.277 \text{ p.u.}$$



شكل ٢ ـ ٢٢ مخطط الخط الواحد ـ مثال ٢ ـ ٣

تحتاج عملية الحماية السليمة إلى معرفة أكبر وأقل تيار قصر من الممكن أن يحدث تبعاً لشكل الشبكة المحلية لحظة حدوث القصر. بالرجوع إلى شكل ٢ ـ ٢٢، من الممكن أن يحدث القصر عند F في إحدى حالتين من حالات التشغيل:

الحالة الأولى: الكابلان المتوازيان يعملان في الخدمة.

الحالة الثانية: أحد الكابلين خارج الخدمة (بسبب أعمال صيانة أو إصلاح).

تعطي الحالة الأولى أكبر تيار قصر، حيث تكون المفاعلة المكافئة بين مصدر التغذية وموضع القصر هي:

$$X_{S.C}\,(p.u.) = X_S + X_T + \frac{X_C}{2}$$

$$= 0.1 + 0.1 + \frac{0.277}{2} = 0.3385\ p.u.$$

ويصبح تيار القصر هو

$$I_{S.C} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 0.3385}$$

$$= 89.77\ KA.$$

وتعطى الحالة الثانية أقل تيار قصر، حيث تكون المفاعلة المكافئة بين مصدر التغذية وموضع القصر في تلك الحال هي

$$X_{S.C}(p.u.) = X_S + X_T + X_C$$

$$= 0.1 + 0.1 + 0.277 = 0.477$$

ويصبح أقل تيار قصر من شبكة التغذية هو

$$I_{S.C} = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 0.380 \times 0.447}$$

$$= 63.705\ KA$$

نضيف الآن إلى القيمتين السابقتين قيمة تيار القصر من المحركات الحثية. ونظراً لعدم معرفة مفاعلة المحرك فسوف نعتبر أن تيار القصر يساوي خمسة أمثال تيار الحمل الكامل أي

$$S.C.\ I_M = 5 \times (8 \times 50) = 2\ KA$$

ويصبح بذلك:

$$Max.\ I_{S.C.} = 89.77 + 2 = 91.77\ KA$$

$$Min.\ I_{S.C.} = 63.705 + 2 = 65.705\ KA$$

ويمكن بطبيعة الحال إهمال تيار القصر الناتج من المحركات الحثية، حيث أن مجموع تيارات الحمل الكامل المقنن لها ٤٠٠ أمبير، وهو أقل من ١٪ من تيار القصر بدون اعتبار المحركات.

مثال ٢ ـ ٤:

اعتبر المنظومة الصناعية المبينة بالشكل ٢ ـ ٢٣. المطلوب تعيين تيار القصر في حالتين:

الحالة الأولى: فتح الدائرة خلال دورتين من حدوث القصر (فتح سريع).

الحالة الثانية: فتح الدائرة بعد زمن أكثر من دورتين.

جميع بيانات الشبكة موضحة على مخطط الخط الواحد.

باختيار كيلوفولت أمبير أساس يمكن حساب المفاعلات بالوحدة لجميع عناصر الشبكة كما يأتي:

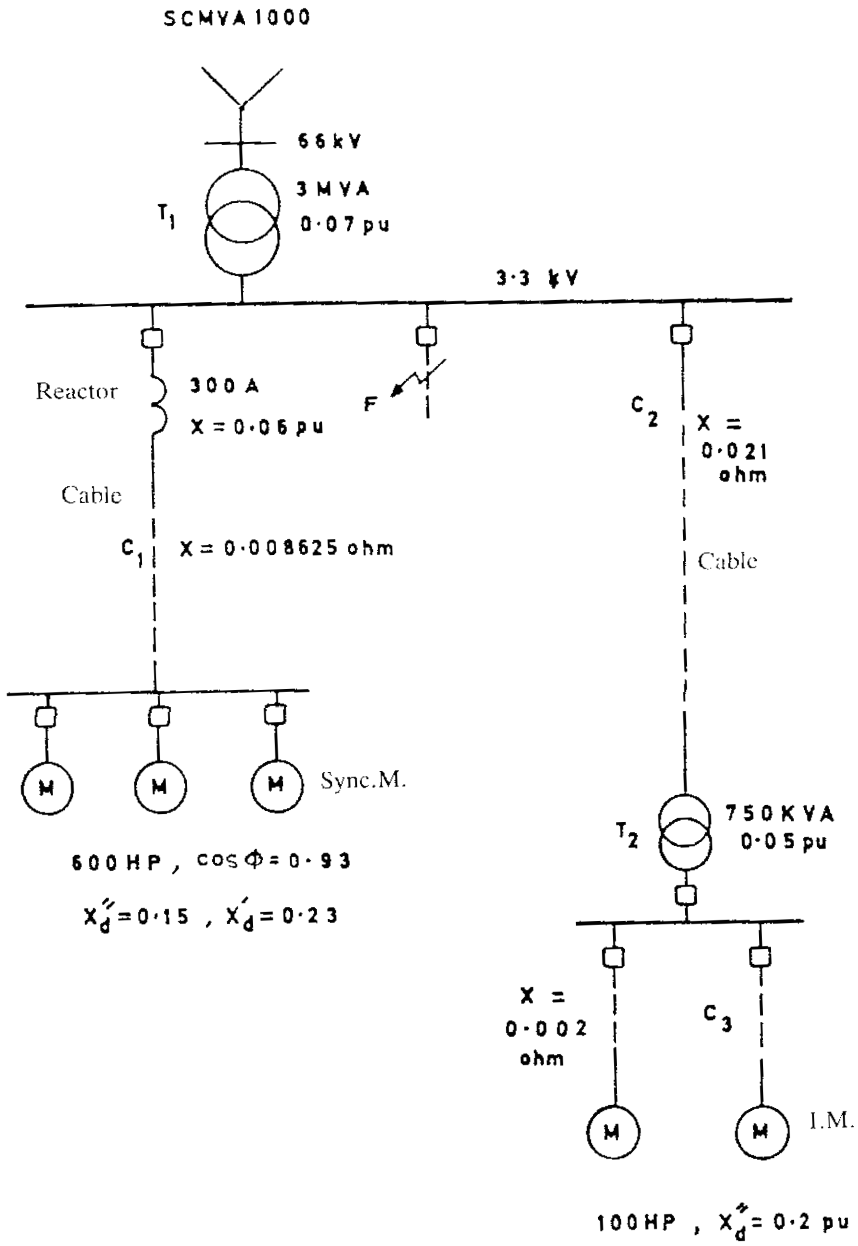
$$(KVA)_b = 10000\ KVA$$

ـ مفاعلة المنبع

$$X_S = \frac{10}{1000} = 0.01\ p.u.$$

ـ مفاعلة المحول T_1

$$X_{T2} = 0.07 \times \frac{10}{3} = 0.233\ p.u.$$



شكل ٢ ـ ٢٣ منظومة المثال ٢ ـ ٤

ـ مفاعلة المحول T_2

$$X_{T2} = 0.05 \times \frac{10}{0.75} = 0.67 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة المفاعل (مقنن المفاعل $\sqrt{3} \times 3.3 \times 300$ ك . ف . أ)

$$X_R = 0.06 \times \frac{10000}{\sqrt{3} \times 3.3 \times 300} = 0.35 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة الكابلات

$$X_{C1} = 0.008625 \times \frac{10}{(3.3)^2} = 0.0079 \text{ p.u.}$$

$$X_{C2} = 0.021 \times \frac{10}{(3.3)^2} = 0.0193 \text{ p.u.}$$

$$X_{C3} = 0.002 \times \frac{10}{(0.38)^2} = 0.139 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة المحركات المتزامنة

$$X''_M = 0.15 \cdot \frac{(KVA)_b}{(KVA)_r}$$

حيث $(KVA)_r$ مقنن دخل المحرك وهو:

$$(KVA)_r = \frac{600 \times 0.746}{0.93} = 480 \text{ KVA}$$

ومنها

$$X''_M = 0.15 \times \frac{10}{0.48} = 3.13 \text{ p.u.}$$

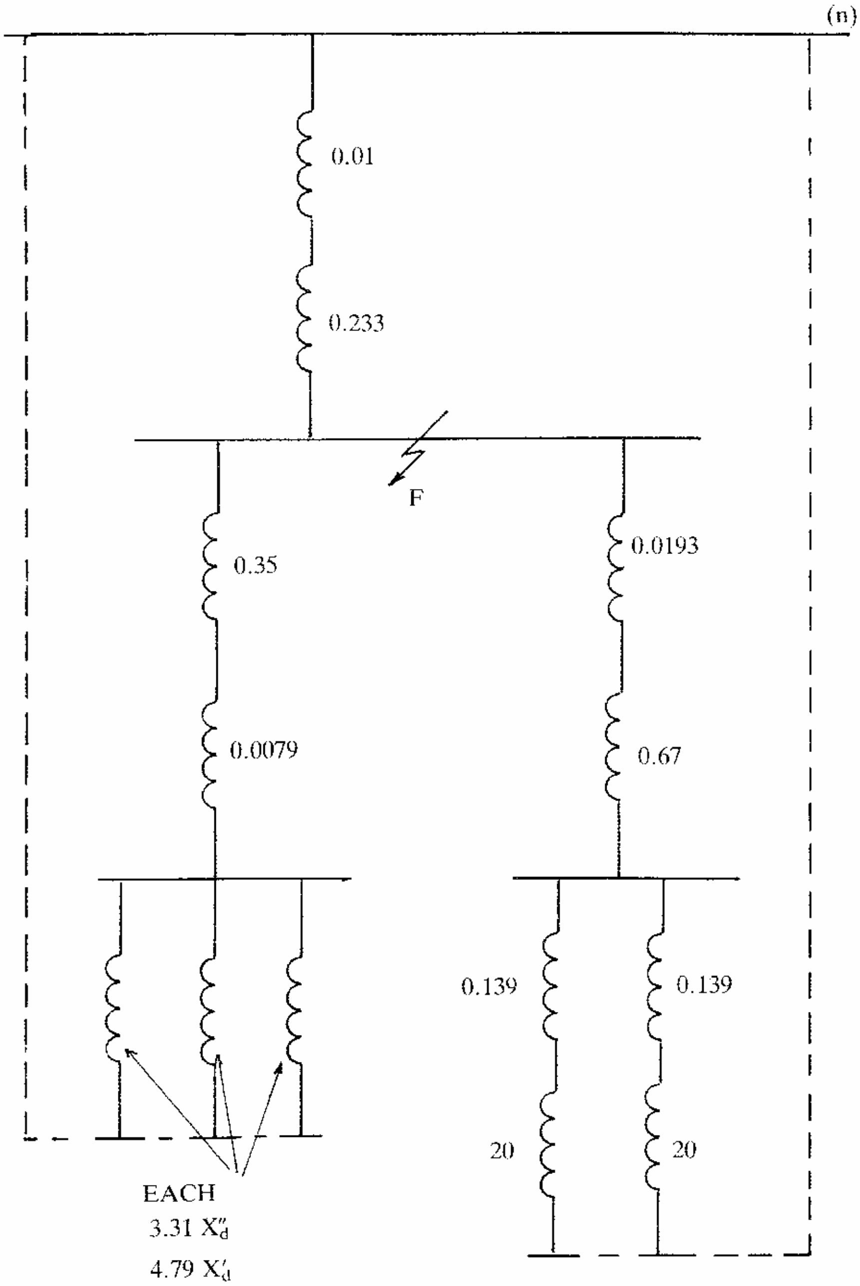
$$X'_M = 0.23 \times \frac{10}{0.48} = 4.79 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة المحركات الحثية

$$X''_{MI} = 0.2 \times \frac{10000}{100} = 20 \text{ p.u.}$$

(راجع آخر فقرة في البند ٢ ـ ٥).

يمكن بعد ذلك رسم دائرة المفاعلة المكافئة كما هو مبين بالشكل ٢ ـ ٢٤ . نوجد بعد ذلك المفاعلة المكافئة بين نقطة القصر F ونقطة التعادل n :



شكل ٢ ـ ٢٤ دائرة المفاعلة المكافئة للشكل ٢ ـ ٢٣

ـ لحالة الفصل الفوري نعتبـر في الدائـرة مفاعـلات المحركـات الحثية (X''_{MI}) والمفاعلات دون العابرة لمحركات المتزامنة (X''_{M}).
ـ لحالة الفصل الأكثر من دورتين نعتبر مفاعلات المحركات الحثية لانهائية (أي دائرتها مفتوحة) ونعتبر المفاعلات العابرة للمحركات المتزامنة.

يبين الشكـل ٢ ـ ٢٥ خطوات اختصـار دائرة المفـاعلة المكافئـة وحتى إيجاد المفاعلة بين نقطة التعادل n وموضع الخطأ F، وذلك في حـالة الفصـل الفوري. ينتج عن ذلك

$$X_{S.C.}\ (p.u.) = 0.203$$

تيار الفصل الفوري هو

$$\text{Sym } I_{S.C}\ (p.u.) = \frac{1}{0.203} = 4.926\ p.u.$$

$$= \quad 4.926 \times \frac{10000}{\sqrt{3}\,(3.3)} = 8618\ A.$$

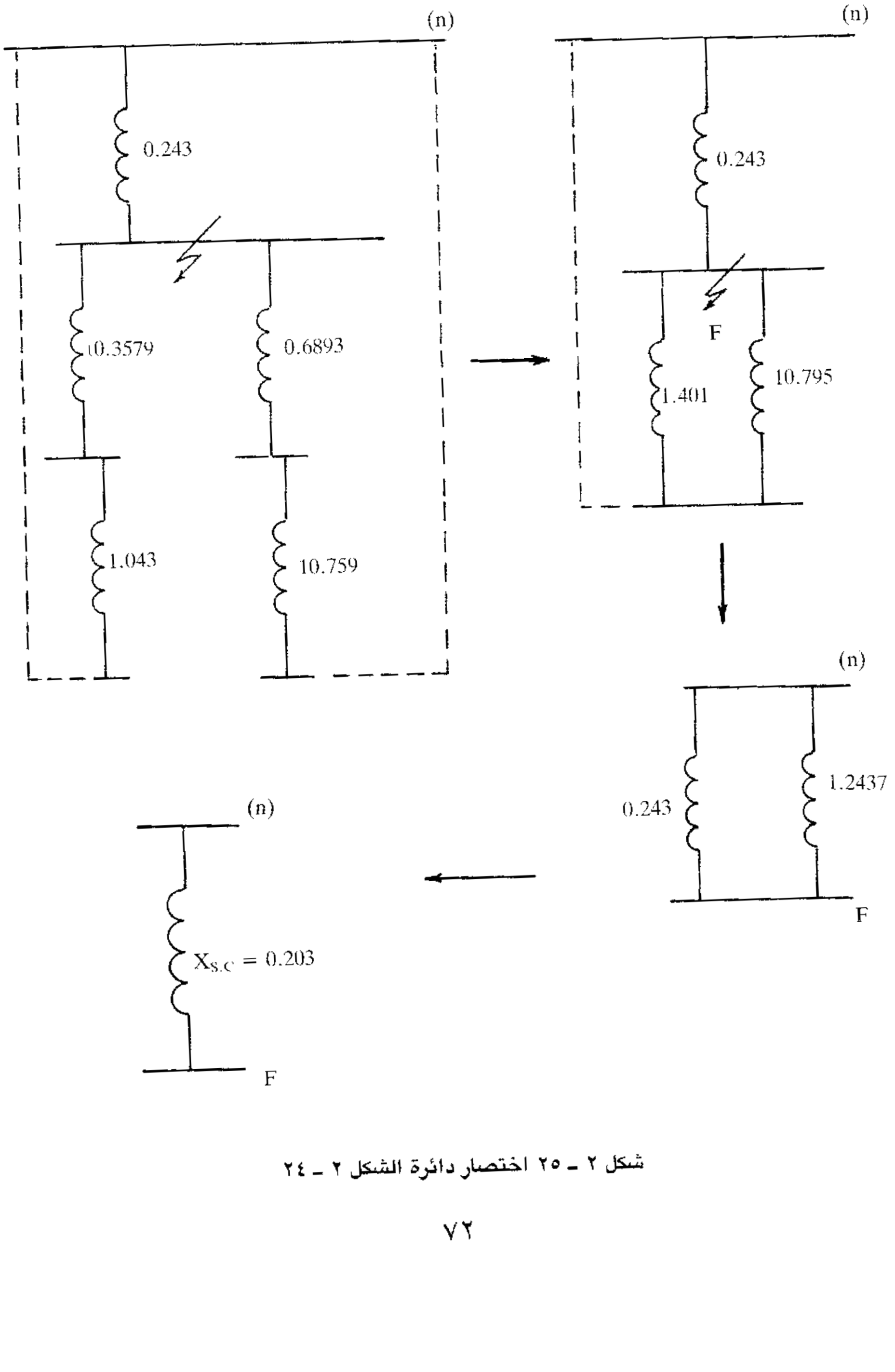
يمكن اتباع نفس الخطوات السـابقة لحسـاب تيار القصـر بعد أكثـر من دورتين، وذلك بعد فتح دوائر المحركات الحثية واستخدام المفاعلات العابرة بدلاً من المفاعلات دون العابـرة للمحركـات المتزامنـة. يبين الشكل ٢ ـ ٢٦ الدائرة المكافئة، ويبين الشكل ٢ ـ ٢٧ خطوات اختصار الدائرة. ينتج عن ذلك

$$X_{S.C}\ (p.u.) = 0.216$$

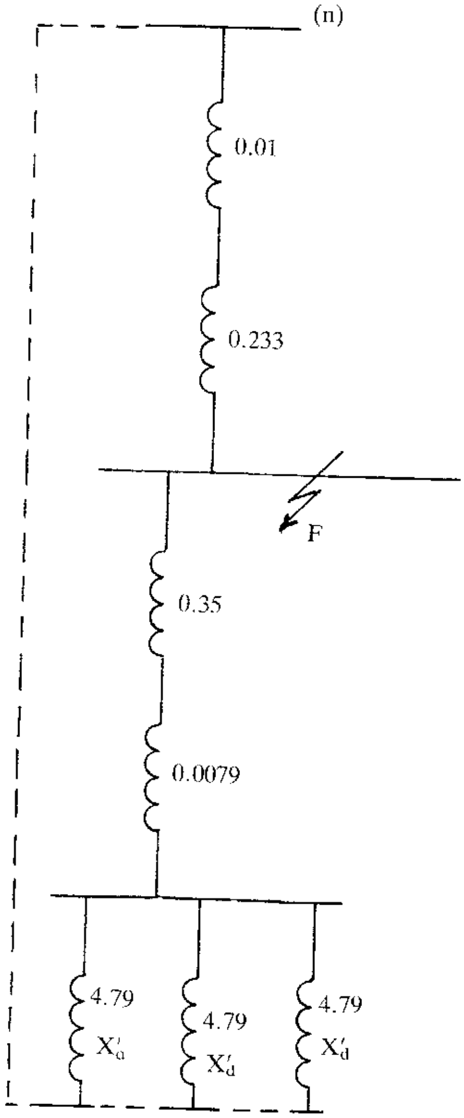
تيار الفصل المتماثل

$$\text{Sym } I_{S.C}\ (p.u.) = \frac{1}{0.216} = 4.629\ p.u.$$

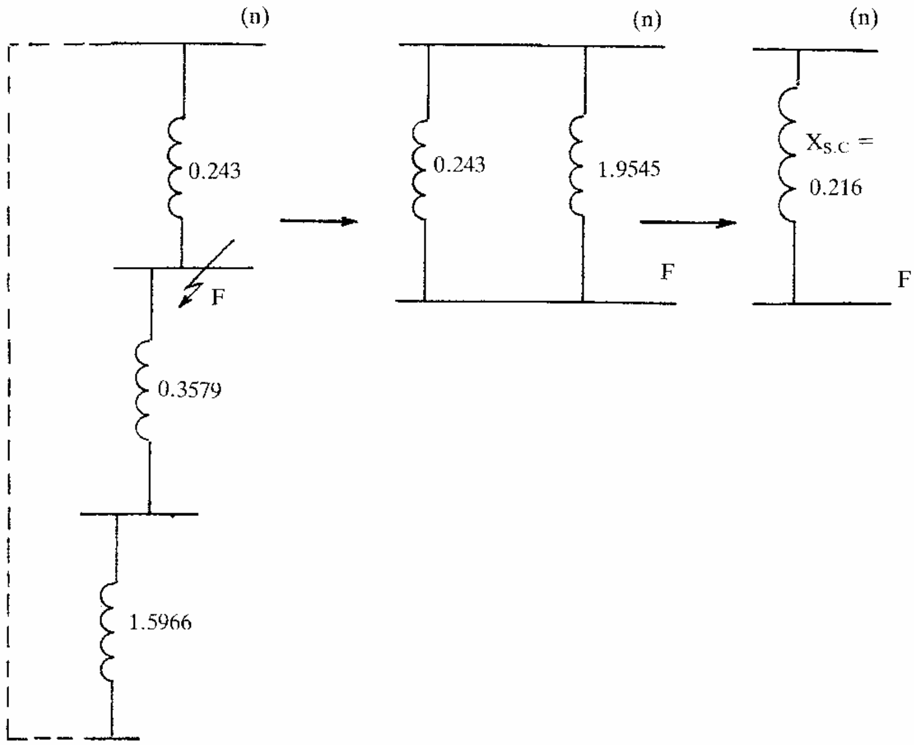
$$= \quad 4.629 \times \frac{10000}{\sqrt{3}\,(3.3)} = 8100\ A.$$



شكل ٢ ـ ٢٥ اختصار دائرة الشكل ٢ ـ ٢٤



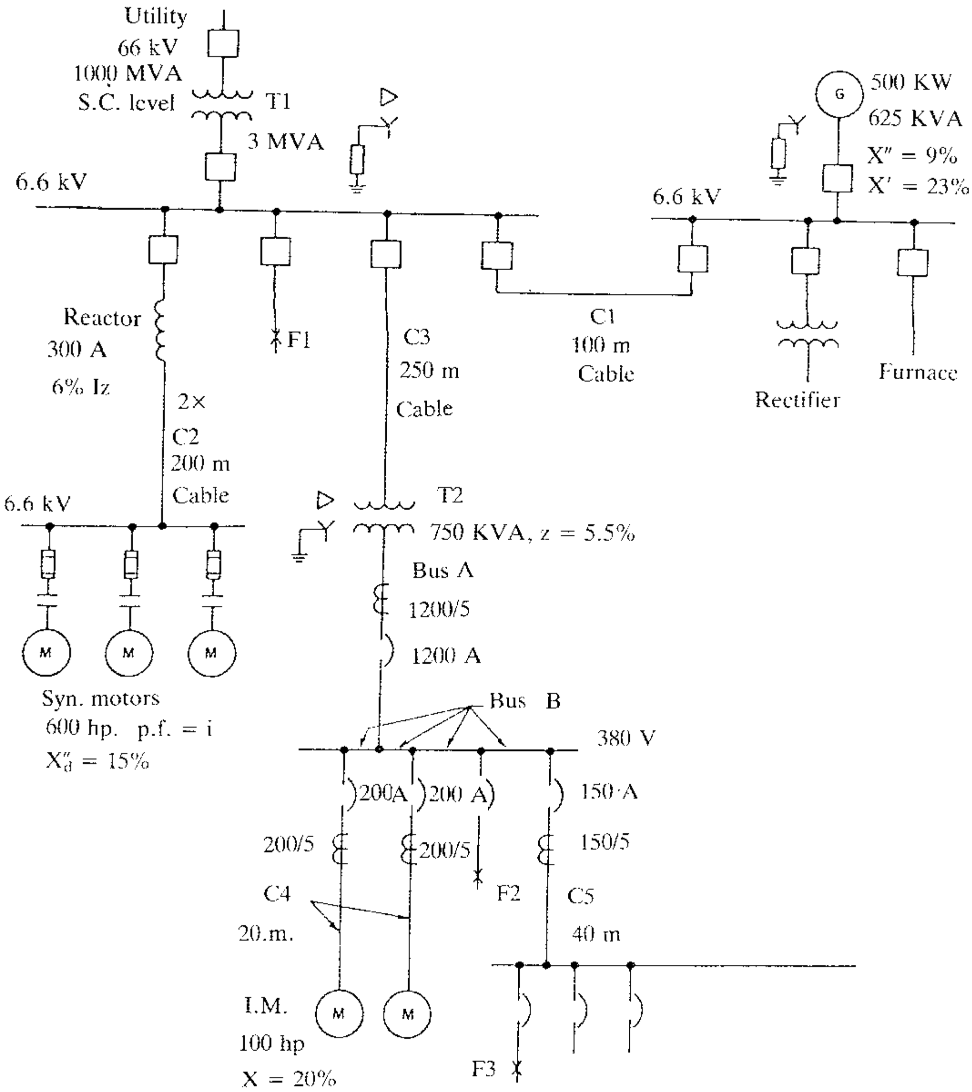
شكل ٢ ـ ٢٦ دائرة المفاعلة المكافئة لشكل ٢ ـ ٢٣ (فصل أكثر من دورتين)



شكل ٢ ـ ٢٧ اختصار دائرة الشكل ٢ ـ ٢٦

٢ ـ ٨ شبكة عملية:

يبين الشكل ٢ ـ ٢٨ شبكة صناعية نمطية مشابهة لمعظم شبكات التوزيع في المصانع. لإجراء دراسة كاملة لقصر الدائرة على هذه الشبكة يجب اعتبار القصر في نقط عديدة من الشبكة وذلك في كل موضع يوضع فيه جهاز حماية. سوف تقتصر دراستنا على ثلاثة مواضع فقط مبينة على الشكل (F1 و F2 و F3). البيانات الأساسية للشبكة موجودة على الشكل، وباقي البيانات المتاحة معطاة فيما يلي:



شكل ٢ ـ ٢٨ مخطط الخط الواحد لشبكة صناعية نمطية

الكابلات :

الكابل	عدد الكابلات في الدائرة	المفاعلة Ω/100 mt	المقاومة Ω/100 mt
C1	1	0.009	——
C2	2	0.010	——
C3	1	0.010	——
C4	1	0.013	0.051
C5	1	0.012	0.048

المولد G :

$500\ KW,\ 625\ KVA,\ X'' = 9\%$

المحركات المتزامنة : ٣ محركات

$600\ hp,\ p.f. = 1,\ X''_d = 10\%,\ X'_d = 15\%$

المحركات الحثية : محركين (100 hp)

قضيب التوزيع A : $X = 0.000588\ \Omega$

قضيب التوزيع B : $X = 0.00129\ \Omega$

وتوجد ـ بطبيعة الحال ـ بعض المفاعلات غير معلومة القيمة. سوف نعطي تقديراً لتلك القيم من الجداول الموجودة في هذا الباب.

نبدأ الحل باختيار كيلوڤولت أمبير أساس وليكن

$$(KVA)_b = 10000\ KVA$$

نحسب بعد ذلك مفاعلة الأساس على جهدي الشبكة (بإهمال المقاومات) من المعادلة (٢ ـ ١٢).

(أ) على ٦٦٠٠ ڤولت

$$X_b = \frac{(6.6)^2}{10} = 4.356\ \Omega$$

(ب) على ٣٨٠ ڤولت

$$X_b = \frac{(0.38)^2}{10} = 0.0144\,\Omega$$

وسوف نستخدم هاتين القيمتين في حساب المفاعلات بالوحـدة لجميع الأجهزة.

الخطوة الأولى:

إحسب جميـع المفـاعـلات المـوجـودة في الشبكـة على قيم الأسـاس المختارة والمحسوبة من قبل.

(١) **شبكة التغذية**: (المعادلة ٢ ـ ٢١)

$$X_S = \frac{10}{1000} = 0.01 \text{ p.u.}$$

(٢) **المحول T1** : قيمة المفاعلة غير معطاة. نستخدم الجدول (٢ ـ ٩) نجد أن المفاعلة تساوي ٦٪ على مقنن المحول. بتحويل تلك القيمة إلى القيمـة المنسوبة لكيلوڤولت أمبير الأساس (معادلة ٢ ـ ١٧)

$$X_{T1} = \frac{6}{100} \times \frac{10}{3} = 0.2 \text{ p.u.}$$

(٣) **المولد G**: بالتحويل إلى كيلوڤولت أمبير الأساس

$$X''_G = \frac{9}{100} \times \frac{10}{0.625} = 1.44 \text{ p.u.}$$

(٤) **الكابل C1**: (المعادلة ٢ ـ ١٥)

$$X_{C1} = \frac{0.009}{X_b} = \frac{0.009}{4.356} = 0.002066 \text{ p.u.}$$

(٥) **الكابل C2**:

$$X_{C2} = \frac{0.01}{X_b} = \frac{0.01}{4.356} = 0.002295 \text{ p.u/100mt/cable}$$

$$= 0.002295 \times 2 \text{ p.u./Cable}$$

ولكابلين متوازيين نحصل على

$$X_{C2} = \frac{1}{2} \times (0.002295 \times 2) = 0.002295 \text{ p.u.}$$

(٦) الكابل C3 :

$$X_{C3} = \frac{0.01}{X_b} \times \frac{2509}{100}$$

$$= \frac{0.01}{4.356} \times \frac{250}{100} = 0.005739 \text{ p.u.}$$

(٧) أحمال الأفران والمقومات:

هذه الأحمال لا تولد تيارات قصر كالآلات الدوارة، كما أنها لا تعمل على الحد من تيار القصر. يمكن بذلك إهمالهما. وقد سبق أن ذكرنا أن جميع الأحمال يتم إهمالها في حسابات القصر فيما عدا تلك الأحمال التي يكون لها قوة دافعة كهربية داخلية وهي أحمال ديناميكية كالمحركات بأنواعها والمكثفات المتزامنة.

(٨) مفاعل الحد من التيار:

مفاعلة المفاعل هي ٠,٠٦ بالوحدة من مقننه الذي يساوي :

$$(KVA)_r = \sqrt{3} \times 300 \times 6.6 = 3429.3 \text{ KVA}$$

وبالتحويل إلى كيلوفولت أمبير الأساس

$$X_R = 0.06 \times \frac{10000}{3429.3} = 0.17496 \text{ p.u.}$$

(٩) المحول T2 :

المفاعلة ٥,٥٪ معطاة على مقنن المحول. بالتحويل إلى كيلوفولت أمبير الأساس

$$X_{T2} = \frac{5.5}{100} \times \frac{1000}{750} = 0.733 \text{ p.u.}$$

(١٠) المحركات المتزامنة:

Motor KVA base = 0.8 × 600 = 480 KVA

$$X''_d \text{ (p.u.)} = \frac{10}{100} \times \frac{10000}{480} = 2.08 \text{ p.u}$$

$$X'_d \text{ (p.u.)} = \frac{15}{100} \times \frac{10000}{480} = 3.13 \text{ p.u.}$$

(١١) قضيب التوزيع A:

$$X_{Bus,A} = \frac{0.000588}{0.0144} = 0.0408 \text{ p.u.}$$

(١٢) قضيب التوزيع B:

$$X_{Bus,B} = \frac{0.000129}{0.0144} = 0.00895 \text{ p.u.}$$

(١٣) كابل التغذية C4:

$$X_{C4} = \frac{0.013}{0.0144} \times \frac{20}{100} = 0.18055 \text{ p.u.}$$

(١٤) كابل التغذية C5:

$$X_{C5} = \frac{0.012}{0.0144} \times \frac{40}{100} = 0.33333 \text{ p.u.}$$

(١٦) قواطع الدائرة الهوائية:

ـ قاطع الدائرة ١٢٠٠ أمبير (من الجدول ٢ ـ ١٣)، مفاعلته = ٠,٠٠٠٠٦ أوم

$$X_{C.B\ 1200} = \frac{0.00006}{0.0144} = 0.004166 \text{ p.u.}$$

ب ـ قاطع الدائرة ١٥٠، ٢٠٠ أمبير (من الجدول ٢ ـ ١٣) مفاعلته = ٠,٠٠٠٨٣ أوم

$$X_{C.B.150} = X_{C.B.200} = \frac{0.00083}{0.0144} = 0.05764 \text{ p.u.}$$

(١٧) محولات التيار: (الجدول ٢ ـ ١١)

$$X_{C.T.}(1200/5) = \frac{0.00006}{0.0144} = 0.004166 \text{ p.u.}$$

$$X_2C_{.T.}\ (150/5, 200/5) = \frac{0.0018}{0.0144} = 0.125 \text{ p.u.}$$

(١٨) المحركات الحثية:

Motor KVA base = horsepower rating = 100 KVA

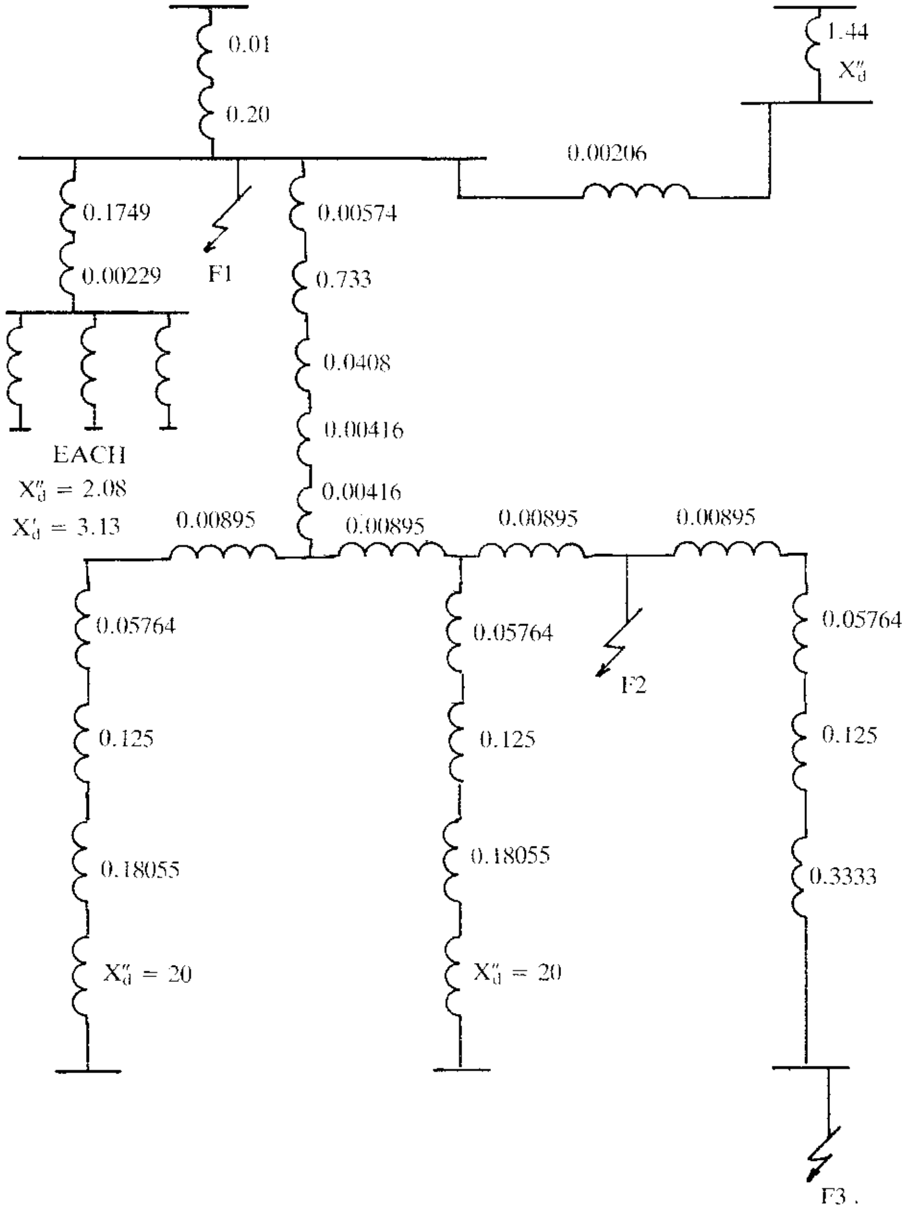
$$X''_d \text{ (p.u.)} = \frac{20}{100} \times \frac{10000}{100} = 20 \text{ p.u.}$$

الخطوة الثانية:

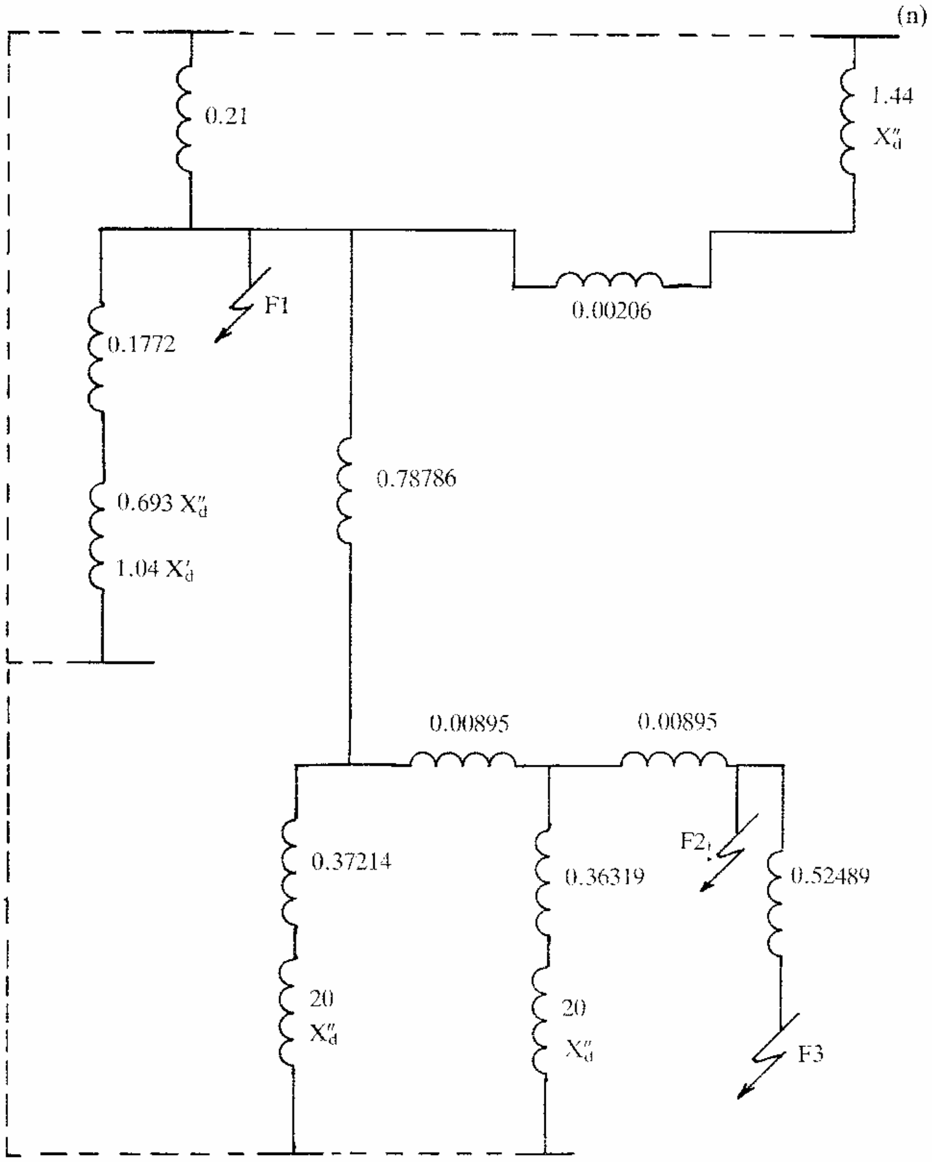
إرسم مخطط دائرة المفاعلة المكافئة مع وضع المفاعلات بالوحدة لجميع الأجهزة على الرسم. يبين الشكل ٢ ـ ٢٩ هذا المخطط موضحاً عليه مواضع القصر الثلاثة تحت الدراسة.

الخطوة الثالثة:

إختصر الدائرة السابقة إلى أقصى درجة ممكنة بشرط الاحتفاظ بمواضع الأخطاء F1، F2 و F3. يبين الشكل ٢ ـ ٣٠ هذه الخطوة. تمثل الخطوط المقطعة في هذا الشكل النقط ذات الجهد المتساوي في الشبكة خلال حسابات قصر الدائرة.



شكل ٢ ـ ٢٩ دائرة المفاعلة المكافئة للشكل ٢ ـ ٢٨

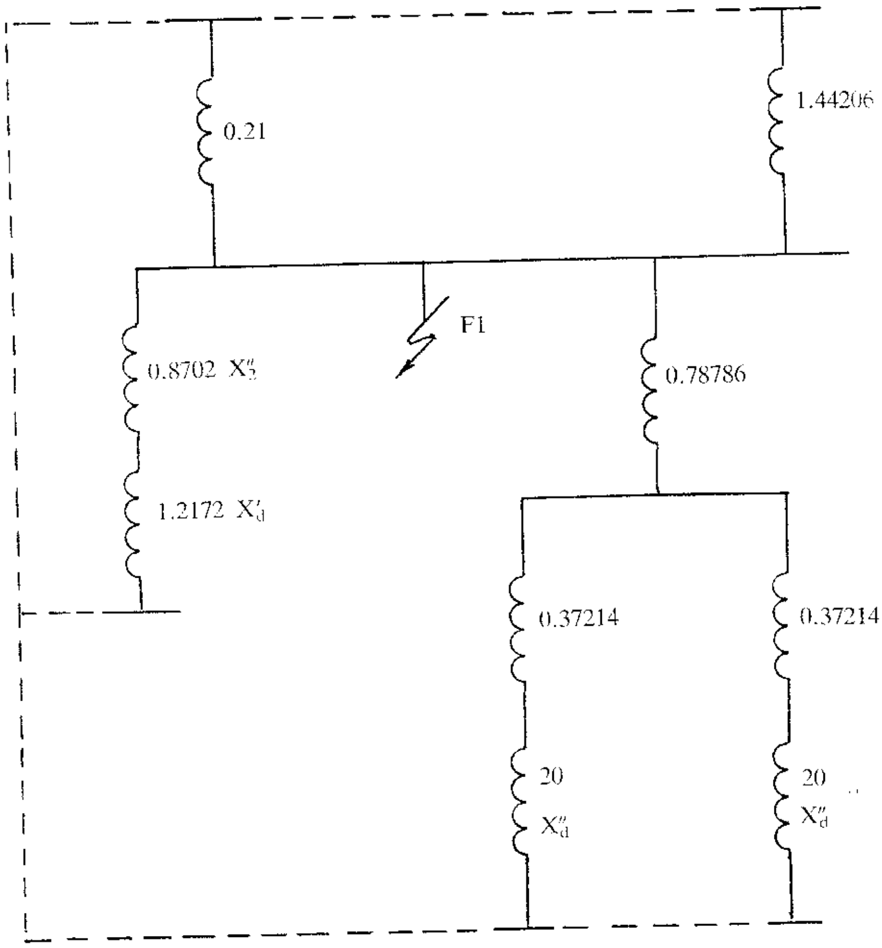


شكل ٢ ـ ٣٠ اختصار الدائرة المكافئة للشكل ٢ ـ ٢٩

الخطوة الرابعة:

اعتبر كل خطأ من الأخطاء الثلاثة على حدة وأوجد المفاعلة المكافئة للدائرة المناظرة بين نقطة الخطأ ونقطة التعادل.

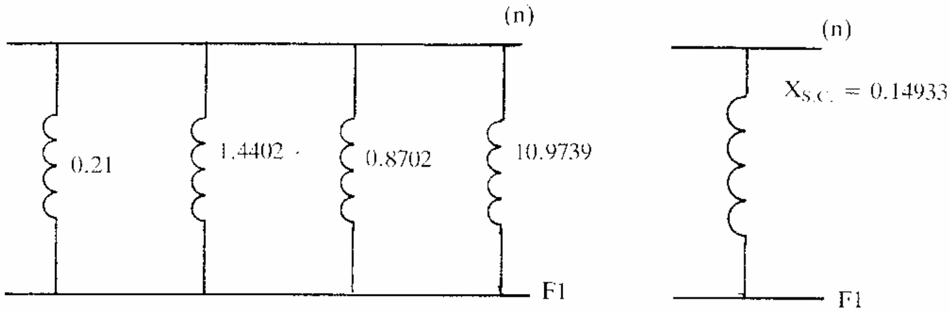
الخطأ عند F1: يبين الشكل ٢ ـ ٣١ الدائرة المكافئة للخطأ عند F1.



شكل ٢ ـ ٣١ الدائرة المكافئة للخطأ عند F1

ويبين الشكل ٢ ـ ٣٣ اختيار المفاعلات واختصار الدائرة لحالة الفصل الفوري، والشكل ٢ ـ ٣٣ حالة الفصل لأكثر من دورتين. القيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل لحالة الفصل الفوري هي:

$$\text{Sym } I_{s.c} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 0.14933} = 5858 \text{ A.}$$

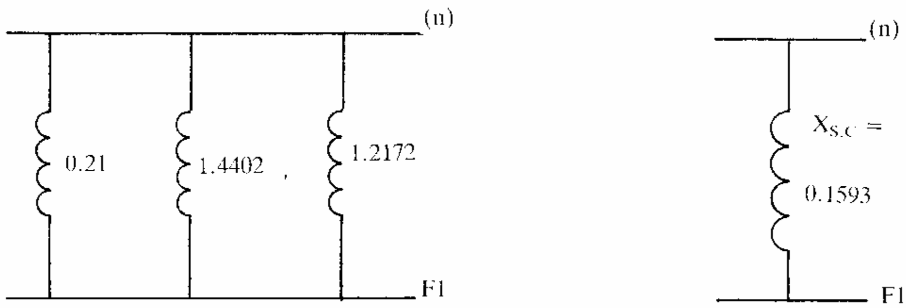


$$\frac{1}{X_{s.c.}} = \frac{1}{0.21} + \frac{1}{1.4402} + \frac{1}{0.8702} + \frac{1}{10.9739}$$

$$\frac{1}{X_{s.c.}} = 6.696$$

$$X_{s.c.} = 0.14933$$

شكل ٢ ـ ٣٢ حالة الفصل الفوري



$$\frac{1}{X_{s.c.}} = \frac{1}{0.21} + \frac{1}{1.4402} + \frac{1}{1.2172}$$

$$\frac{1}{X_{s.c.}} = 6.2778$$

$$X_{s.c.} = 0.1593$$

شكل ٢ ـ ٣٣ حالة الفصل أكثر من دورتين

ولأخذ قيمة اللاتماثل في الاعتبار تستخدم معامل لاتماثل مقدار ١,٦ وذلك بسبب وجود مركبة التيار الثابت خلال الدورتين الأولى والثانية.

$$\text{Assym } I_{s.c} = 1.6 \times 5858 = 9373 \text{ A.}$$

قيمة تيار القصر المتماثل في حالة الفتح بعد خمس دورات هي:

$$\text{Sym } I_{s.c} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 6.6 \times 0.1593} = 5419 \text{ A.}$$

لإيجاد عامل اللاتماثل نعتبر أن المفاعلة أكبر كثيراً من المقاومة، ولتكن

$$\frac{X}{R} = 24$$

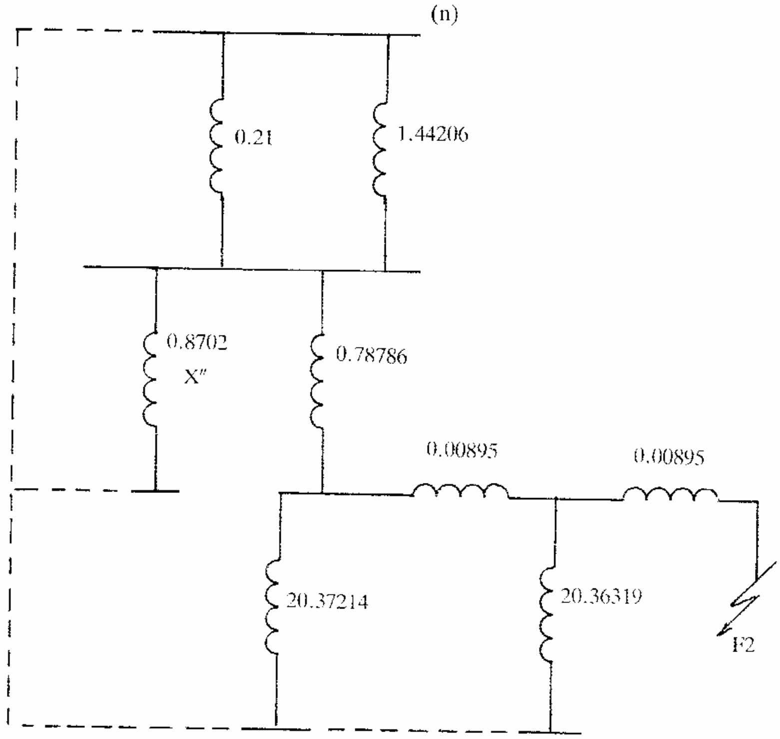
زمن الفتح المناظر لخمس دورات هو ٠,١ ثانية. بالرجوع إلى شكل ٢ ـ ١٦ نجد أن عامل اللاتماثل المناسب يساوي ١,٢. تيار القصر غير المتماثل هو:

$$\text{Assym } I_{s.c} = 1.2 \times 5419 = 6590 \text{ A}$$

الخطأ عند F2: يجب إعادة رسم الدائرة المكافئة للخطأ F2 من دائرة الشكل ٢ ـ ٣٠ بحيث يمكن إيجاد المفاعلة المكافئة بين n و F2. وكما سبق ذكره فإن التيار الفوري فقط هو الذي يتم حسابه في دوائر الجهد المنخفض حيث تعمل دوائر الحماية عادة خلال الدورتين الأولى والثانية. يبين الشكل ٢ ـ ٣٤ الدائرة المكافئة للخطأ عند F2، ويبين الشكل ٢ ـ ٣٥ اختصار تلك الدائرة.

القيمة الفعالة لتيار القصر المماثل عند F2 هي:

$$\text{Sym } I_{s.c} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 0.380 \times 0.8771} = 17323 \text{ A}$$



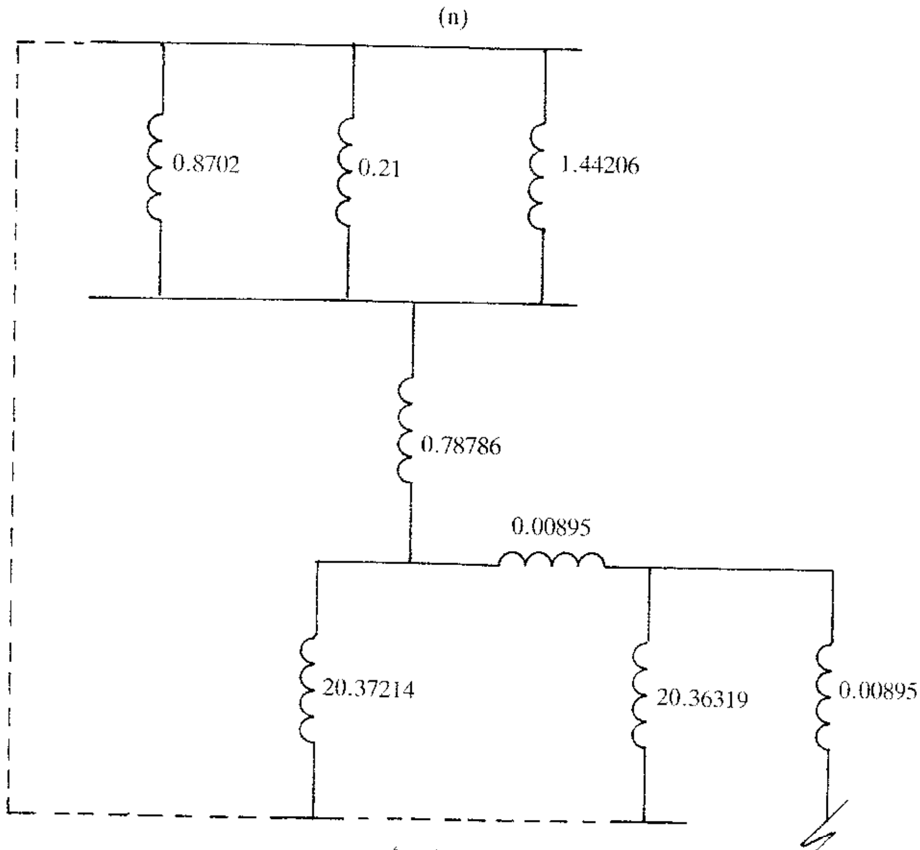
شكل ٢ ـ ٣٤ دائرة المفاعلة المكافئة للخطأ عند F2

ونلاحظ أن عامل اللاتماثل هنا يساوي ١,٠٠ (راجع الجدول ٢ ـ ١٨).

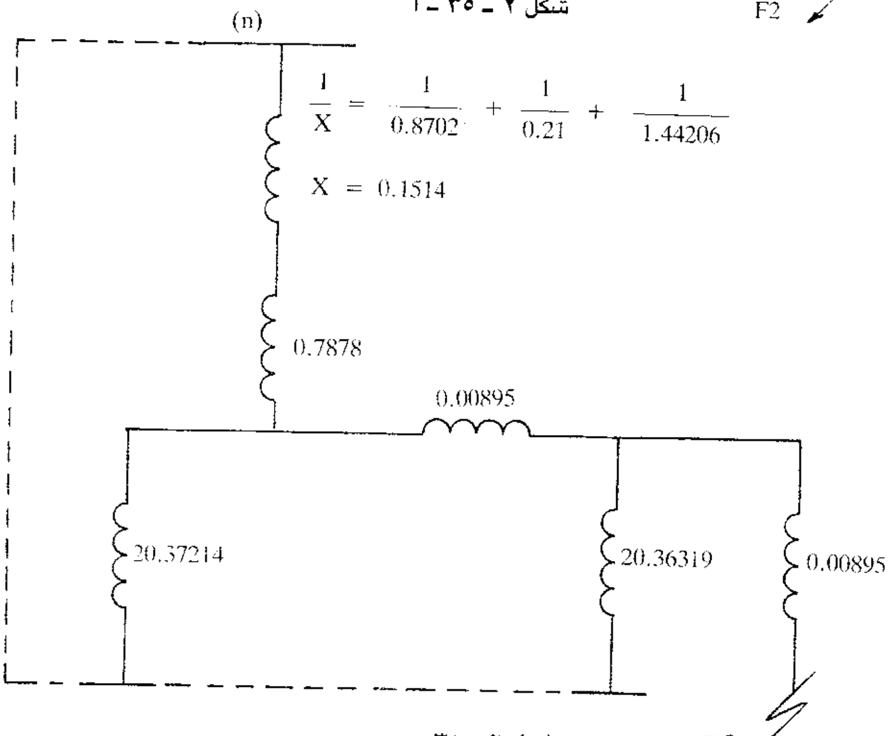
الخطأ عند F3: بالتأمل في شكل ٢ ـ ٣٠ نجد أن المفاعلة بين F3 والمصدر (n) تزيد عن المفاعلة بين F2 و (n) بمقدار ٠,٥٢٤٨٩ يمكن بذلك إيجاد المفاعلة المكافئة بين F3 و (n) كما في الشكل ٢ ـ ٣٦.

$$X_{S.C} = 0.8771 + 0.52489 = 1.402 \text{ p.u.}$$

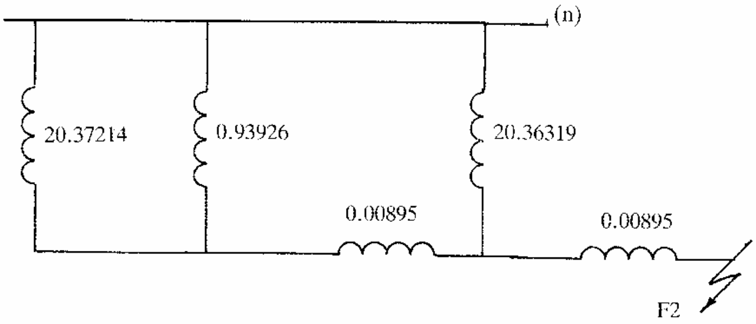
يجب علينا عند هذه النقطة تذكر تأثير المقاومة في دوائر الجهد المنخفض. نلاحظ من الجدولين (٢ ـ ١) و (٢ ـ ٣) أن مقاومات كابلات



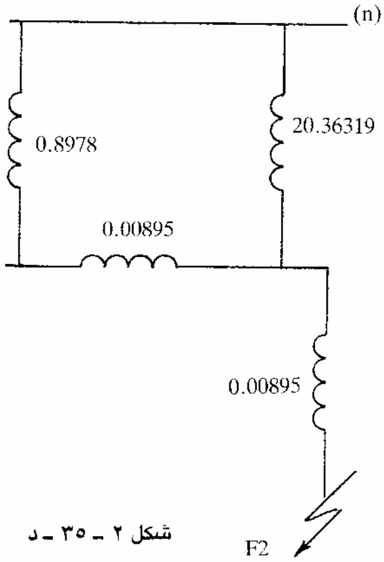
شكل ٢ ـ ٣٥ ـ أ



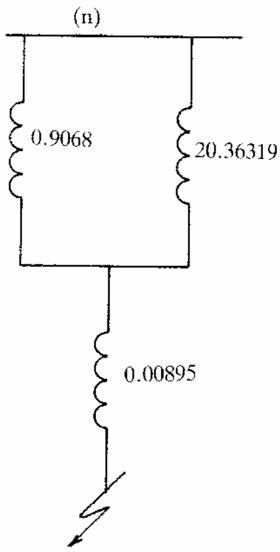
شكل ٢ ـ ٣٥ ـ ب



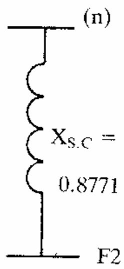
شكل ٢ ـ ٣٥ ـ جـ



شكل ٢ ـ ٣٥ ـ د



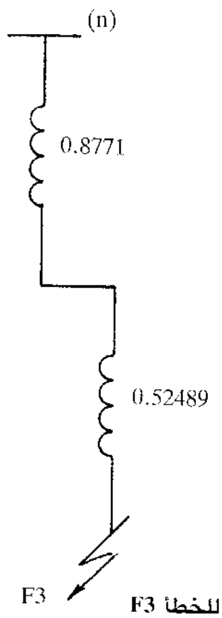
شكل ٢ ـ ٣٥ ـ هـ



شكل ٢ ـ ٣٥ ـ و

شكل ٢ ـ ٣٥ اختصار دائرة الشكل ٢ ـ ٣٤

الجهد المنخفض لا يمكن إهمالها حيث أنها تتعدى قيم المفاعلات في أغلب الحالات. يجب لذلك إعادة الحساب باعتبار المقاومات حتى تكون النتيجة أقرب إلى الواقع. لتوضيح تلك الفكرة نوجد المعاوقة المكافئة من المصدر وحتى كابل التغذية C5. يمكن في جميع الشبكات الصناعية الواقعية اعتبار أن المقاومة تساوي ١/٤ المفاعلة. ورغم أن هذا الفرض هو مجرد خبرة خالصة، إلا أن هذا الفرض مقبول من جميع المواصفات المتبعة. يمكن بهذه الطريقة



شكل ٢ ـ ٣٦ المفاعلة المكافئة للخطأ F3

رسم الدائرة المكافئة للمعـاوقة كمـا هو مبين بـالشكل ٢ ـ ٣٧. يبين الشكـل طريقة إيجاد المقاومة لكل عنصر من عناصر الدائرة، حيث تم فصل الكابل C5 عن العناصر المتصلة معه على التوالي:

المقاومة المكافئة من المنبع إلى الخطأ

$$R_{S.C} = 0.21927 + 0.04790 + 1.332$$
$$= 1.59917 \text{ p.u.}$$

والمفاعلة المكافئة

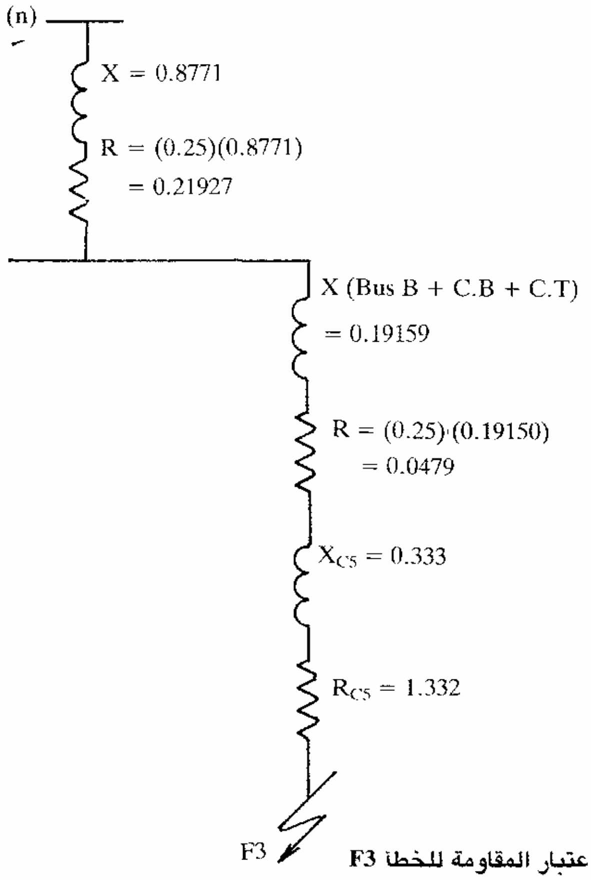
$$X_{S.C} = 1.402 \text{ p.u.}$$

وتصبح المعاوقة الكلية هي

$$Z_{S.C} = \sqrt{(1.59917)^2 + (1.402)^2}$$
$$= 2.1267 \text{ p.u.}$$

وتيار القصر المتماثل هو

$$\text{Sym } I_{S.C.} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 2.1267} = 7144 \text{ A}$$



شكل ٢ ـ ٣٧ اعتبار المقاومة للخطأ F3

نلاحظ هنا أن تيار القصر المحسوب على أساس إهمال المقاومات هو

$$I_{S.C.} = \frac{10000}{\sqrt{3} \times 0.38 \times 1.402} = 10837 \text{ A}$$

وتعطي هذه القيمة الأخيرة نسبة خطأ مقدارها

$$\text{Error \%} = \frac{10837 - 7144}{7144} \times 100$$

$$= 51.7\%$$

ويؤثر هذا الخطأ بطبيعة الحال على اختيار أجهزة وموصلات الشبكة وكذلك مقننات وضبط أجهزة الحماية.

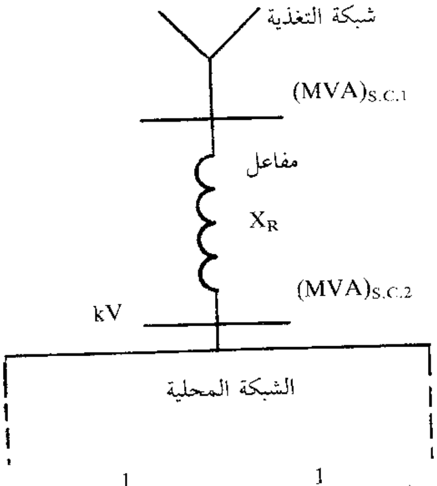
٢ ـ ٩ الحد من تيار القصر ـ المفاعلات:

علمنا من دراستنا في هذا الباب أنه كلما زاد منسوب القصر عند نقطة التغذية فإن ذلك يدل على أمرين هما:

أولاً : في حالات التشغيل العادية يزيد استقرار جهد التغذية بحيث لا يتأثر كثيراً بالتغيرات التي تطرأ على الأحمال. علاوة على ذلك فإن مقدار القدرة التي يمكن سحبها من الشبكة يرتفع بحيث يمكن أن يكون لانهائياً ـ من الوجهة النظرية ـ إذا أصبح مقدار منسوب قصر شبكة التغذية لانهائياً.

ثانياً : في حالات قصر الدائرة على الشبكة المحلية تساهم شبكة التغذية بتيار قصر يزيد بزيادة منسوب القصر، حيث يتم تمثيل ذلك بمفاعلة تتناسب عكسياً مع مقدار منسوب القصر على قضيب التغذية.

يحدث في بعض الأحيان أن يكون مقدار منسوب القصر مرتفعاً بدرجة غير مقبولة، حيث يعمل على زيادة تيارات القصر إلى الحد الذي يؤثر تأثيراً ضاراً على أجهزة الشبكة. علاوة على ذلك، فإن زيادة تيارات القصر يتطلب قواطع دائرة ذات مقننات أكبر. يمكن في تلك الحال استعمال مفاعل Reactor يوضع بين شبكة التغذية ونقطة قضيب التغذية كما هو مبين بالشكل ٢ ـ ٣٨. إن وضع هذا المفاعل يؤدي إلى:



شكل ٢ ـ ٣٨
خفض منسوب قصر شبكة التغذية

$$X_R = (kV)^2 \times \left(\frac{1}{(MVA)_{S.C.2}} - \frac{1}{(MVA)_{S.C.1}} \right)$$

١ ـ خفض تيارات القصر ابتداء من قضيب التغذية وكذلك عند حدوث أي قصر في أي موضع على الشبكة المحلية.

٢ ـ خفض استقرار الشبكة وكذلك خفض كمية القدرة المتاحة من شبكة التغذية، حيث أن القدرة الممكن نقلها من نقطة إلى أخرى تتناسب عكسياً مع مقدار المفاعلة بين هاتين النقطتين وتتناسب طردياً مع مقداري جهدي النقطتين.

٣ ـ رفع فرق الجهد بين الجهد الداخلي لشبكة التغذية (جهد مولد شبكة التغذية) وجهد قضيب التغذية. إن هذا يعني زيادة تأثر جهد قضيب التغذية بمقدار تيار الحمل.

٤ ـ يمثل المفاعل فقداً في القدرة (طاقة مفقودة) نتيجة لمقاومته.

يتبين من ذلك أن قرار استخدام المفاعل يجب أن تسبقه دراسة دقيقة لجميع آثاره في حالات التشغيل العادية وحالات القصر.

يمكن حساب مفاعلة المفاعل بالأوم اللازمة لخفض تيار القصر عند نقطة التغذية من I_1 إلى I_2 من العلاقة الآتية

$$X_R\ (\text{Ohms}) = \frac{V}{\sqrt{3}} \times \left(\frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1}\right) \qquad (22\text{-}2)$$

حيث:

V: الجهد بالڤولت.

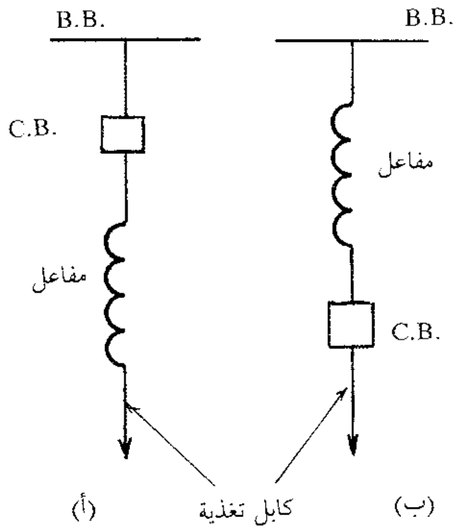
X_R: مفاعلة المفاعل بالأوم.

I_1: تيار القصر قبل وضع المفاعل بالأمبير.

I_2: تيار القصر بعد وضع المفاعل بالأمبير.

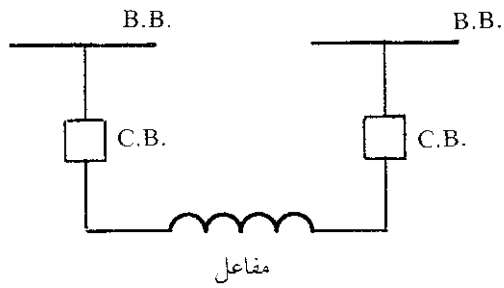
تجد الإشارة هنا إلى أنه يمكن استعمال المفاعلات في مواضع عديدة ومختلفة من الشبكة. نذكر من هذه المواضع ما يأتي:

١ ـ مفاعل على كابل التغذية (شكل ٢ ـ ٣٩): يخفض هذا المفاعل تيار القصر عند حدوث قصر على هذا الكابل في الوضعين (أ) و (ب)، إلا أن الوضع (ب) يتميز بإمكانية خفض مقنن قاطع الدائرة.



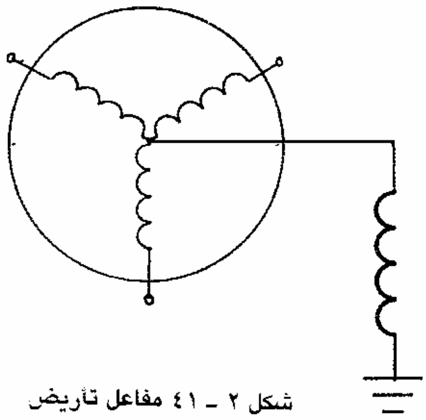
شكل ٢ ـ ٣٩ مفاعل كابل التغذية

٢ ـ مفاعلات ربط قضبان التوزيع (شكل ٢ ـ ٤٠): يتم الربط بين قضيبي توزيع عن طريق مفاعل كما هو مبين. وتوجد طرق أخرى مختلفة لربط قضبان التوزيع يمكن إستخدامها.



شكل ٢ ـ ٤٠ مفاعل ربط قضيبي توزيع

٣ ـ مفاعلات التأريض (شكل ٢ ـ ٤١): تعمل هذه المفاعلات على خفض تيار القصر الأرضي إلى القيمة التي تكون غير ضارة على ملفات المولد أو المحول (حوالي ٤٠٪ من تيار القصر المتماثل).



شكل ٢ ـ ٤١ مفاعل تأريض

٤ ـ تستخدم المفاعلات في بعض الأغراض الأخرى. فهي تُستخدم أحياناً في دائرة بدء الحركة للمحرك بغرض خفض تيار البداية المندفع. كما تُستخدم كأجهزة تعويض للقدرة المردودة في حالات انخفاض الجهد بسبب وجود أجهزة أو خطوط ذات سعة مؤثرة حيث يعمل تيار الشحن السعوي على رفع جهد الشبكة.

المصهرات

Fuses

٣ ـ ١ مقدمــة:

المصهر هو جهاز يستعمل للحماية من تجاوز التيار Over current يحتوي على عنصر صهور يفتح الدائرة عند انصهاره بسبب ارتفاع درجة حرارته نتيجة للطاقة الحرارية المختزنة فيه بسبب مرور التيار خلاله وتجاوزه حداً معيناً لفترة زمنية معينة. تتميز المصهرات عن قواطع الدائرة بما يأتي:

١ ـ البساطة، حيث تشتمل في نفس الوقت على خاصية الإحساس بالتيار وإمكانية فتح الدائرة، أي أنها أجهزة متكاملة الأداء.

٢ ـ تصنع المصهرات بقدرات قطع عالية لتيارات القصر بالمقارنة بقواطع الدائرة. تصل قدرة بعض أنواع من مصهرات الجهد المنخفض إلى أكثر من ١٦٠ كيلو أمبير للقيمة الفعالة لتيار القصر.

٣ ـ لا يحتاج المصهر إلى أي نوع من أنواع الصيانة، حيث لا يحتوي على أجزاء متحركة كما هي الحال في قواطع الدائرة.

٤ ـ المصهرات المحددة للتيار تعمل على الحد من قيمة تيار القصر قبل وصوله إلى قيمته الذروية. إن هذا يعمل على حماية أجهزة الشبكة كالكابلات والمحولات وغيرها من أضرار الإجهادات الحرارية والميكانيكية العالية التي يسببها تيار القصر.

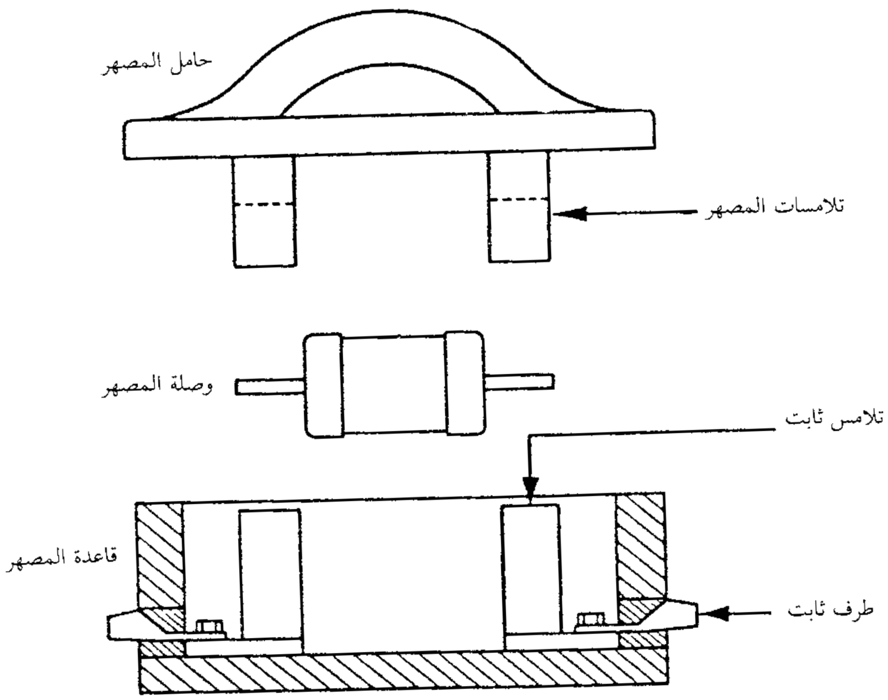
إن العيب الأساسي في المصهرات هو أن المصهر جهاز ذو طور واحد. فالمصهر لا يمكنه فصل الأطوار الثلاثة للدائرة معاً.

تحتوي جميع المصهرات على اختلاف أنواعها على ثلاث مكونات أساسية :

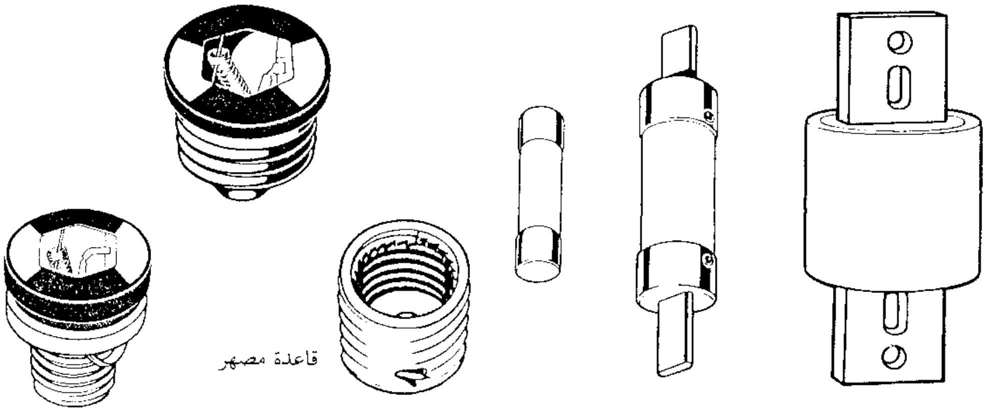
١ ـ **عنصر الصهور Fusing element** : وهو مادة معدنية ذات شكل وأبعاد معينة بحيث تجعل انصهارها سريعاً بالنسبة لباقي أجهزة الشبكة. ويستعمل عادة النحاس أو الفضة أو بعض السبائك الأخرى.

٢ ـ **وصلة المصهر Fuse link** : ويوجد داخلها عنصر الصهور والمواد المستخدمة في إطفاء القوس الكهربي داخل المصهر، بالإضافة إلى أي أجزاء أخرى مساعدة.

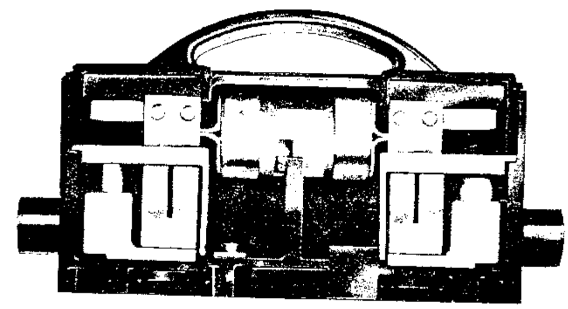
٣ ـ **أطراف المصهر Fuse Contacts** : وتستعمل في تثبيت المصهر في الدائرة وتوصيله كهربياً بها. تبين الأشكال ٣ ـ ١ و٣ ـ ٢ و٣ ـ ٣ المظهر الخارجي والتركيب الداخلي لبعض المصهرات.



شكل ٣ ـ ١ مكونات المصهر



شكل ٣ ـ ٢ الشكل العام للمصهرات



شكل ٣ ـ ٣ مقطع داخلي لمصهر داخل غلاف حامل

٣ ـ ٢ المقننات Ratings:

مقننات المصهر هي الكميات التي يجب معرفتها وتحديدها عند التعامل مع أي مصهر.

١ ـ **مقنن التيار Current rating** : وهو أعلى قيمة فعالة للتيار المتردد عند التردد المقنن الذي يمكن للمصهر أن يحمله باستمرار دون أن ترتفع درجة حرارته عن حد معين. تتراوح هذه القيمة من المللي أمبير وحتى ٦٠٠٠ أمبير لمصهرات الجهد المنخفض.

٢ ـ **مقنن الجهد Voltage rating** : وهو أعلى جهد يمكن للمصهر أن يعمل عليه بأمان. تصنف المصهرات عادة إلى مصهرات جهد منخفض (أقل من ٦٠٠ ڤولت) ومصهرات جهد عالٍ (أعلى من ٦٠٠ ڤولت).

٣ ـ **مقنن القطع Interrupting rating** : وهو أقصى قيمة فعالة لتيار القصر يمكن للمصهر أن يقطع عليها الدائرة بأمان. تصل هذه القيمة إلى حوالي ٢٠٠ كيلو أمبير.

٤ ـ **مقنن الحد من التيار Current limiting rating** : ويُعطى هذا المقنن للمقننات المحددة للتيار والتي سوف نتناولها بالتفصيل في البند ٣ ـ ٣ ـ ٢.

٥ ـ **قيمة (I^2t)**: وهي قيمة حاصل ضرب مربع تيار القصر × الزمن المنقضي من لحظة القصر وحتى انصهار عنصر الصهور (أو حتى إزالة القوس الكهربي).

٣ ـ ٣ الأنواع والتركيب:

يوجد نوعان أساسيان من المصهرات:

أ ـ مصهرات غير محددة للتيار Non-current limiting fuses.

ب ـ مصهرات محددة للتيار Current limiting fuses.

٣ ـ ٣ ـ ١ المصهرات غير المحددة للتيار:

يتم في هذه المصهرات قطع التيار عند مروره بالصفر خلال الدورة الأولى، أي بعد مروره بقيمته الذروية. يوجد نوعان من هذه المصهرات:

أ ـ مصهرات الطرد Expulsion fuses :

تتكون هذه المصهرات من عنصر صهور داخل أنبوبة من الفبر أو مسحوق حامض البوريك المضغوط، ولها نهاية مفتوحة. وعند انصهار العنصر يمتد القوس الكهربي بين طرفي المصهر. ونتيجة لدرجة الحرارة العالية لهذا القوس تتولد من المادة المصنوعة منها الأنبوبة كمية كبيرة من الغازات ترفع الضغط

داخل الأنبوبة وتساعد على خفض درجة التأين في مسار القوس الكهربي مما يمنع إشتعال القوس بعد انقطاعه عند مرور التيار بالصفر. ويتم طرد الغازات بشدة إلى الجو من الطرف الأعلى للأنبوبة.

يستخدم هذا النوع من المصهرات في الأماكن الخارجية وخاصة لحماية الخطوط الهوائية والمحولات المركبة على أعمدة. يتميز هذا المصهر برخص الثمن وسهولة استبداله. كما يمكن استغلال شدة اندفاع الغازات في إسقاط المصهر بأكمله إلى أسفل بحيث يعطي دليلاً مرئياً على انصهاره. لا يمكن استخدام هذا النوع داخل المباني بسبب الإزعاج وكمية الغازات الكبيرة المنبعثة عند الانصهار.

ب ـ المصهرات المفرغة Vacuum fuses :

وهي تشبه في تصميمها وتشغيلها مصهرات الطرد إلا أنها محكمة تماماً ومفرغة. ويعتمد قطع القوس الكهربي وعدم إعادة اشتعاله على خاصية العزل الكهربي الممتاز للفراغ. تتميز تلك المصهرات بصغر الحجم والهدوء وإمكانية استخدامها في الأماكن المغلقة.

٣ ـ ٣ ـ ٢ المصهرات المحددة للتيار:

يتم في هذا النوع من المصهرات قطع التيار الناتج من القصر قبل وصول موجة تيار القصر إلى قيمتها الذروية في نصف الدورة الأولى.

يتكون المصهر أساساً من جسم خارجي من الخزف أو البلاستيك يحتوي على عنصر معدني أو أكثر له خصائص معينة. يملأ جسم المصهر بمسحوق من الكوارتز (تسمى تلك المصهرات أحياناً بمصهرات الكواتز). عند مرور تيار القصر وانصهار المصهر يتبخر المعدن ليترسب بعيداً على جسيمات رمل الكوارتز الباردة نسبياً. ويمتد القوس الكهربي عند مكان الانصهار، ولكن نتيجة لعدم وجود البخار المعدني ولعدم نشوء أي غازات من رمل الكوارتز فإن عملية الانصهار تؤدي إلى إدخال مقاومة عالية جداً في الدائرة خلال زمن قصير للغاية. يؤدي ذلك إلى ما يأتي:

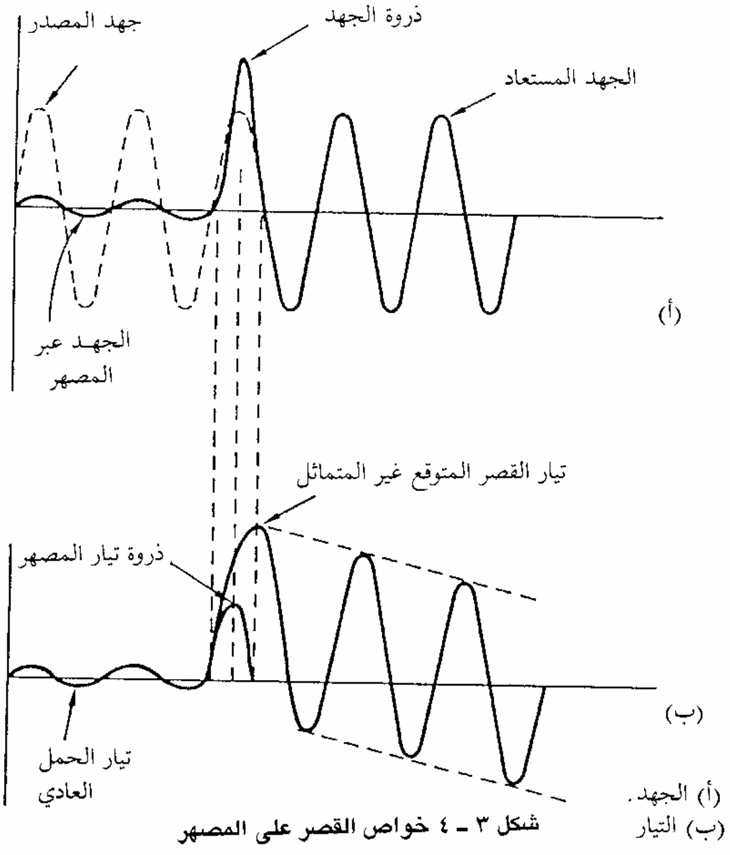
أ ـ الحد من ارتفاع تيار القوس الكهربي.

ب ـ ارتفاع معامل قدرة الدائرة بحيث يصل التيار إلى الصفر مع جهد التشغيل الطبيعي.

جـ ـ ارتفاع في الجهد عبر المصهر (وهو الجهد عبر القوس) نتيجة للتغير السريع في تيار الدائرة التي هي بطبيعتها دائرة معظمها محاثة، حيث أن الجهد يتناسب مع معدل تغير التيار بالنسبة للزمن.

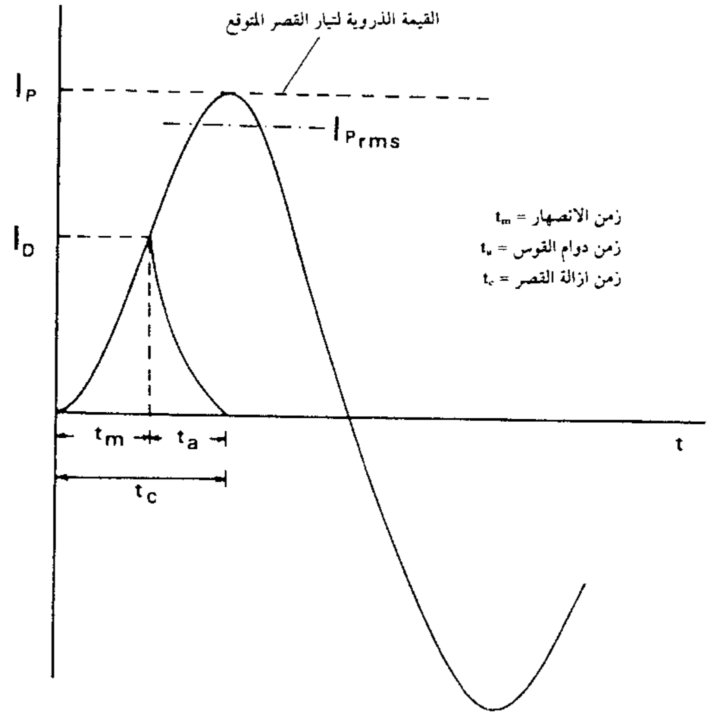
د ـ منع إعادة اشتعال القوس الكهربي بسبب جزيئات الرمل التي تنصهر تحت تأثير حرارة القوس وتحول الرمل إلى كتلة زجاجية جيدة العزل.

ولا تستغرق العملية بأكملها من لحظة حدوث القصر وحتى انقطاع التيار أكثر من ربع دورة. يبين الشكل ٣ ـ ٤ كلاً من موجتي الجهد والتيار أثناء فترة



شكل ٣ ـ ٤ خواص القصر على المصهر

القصر وحتى إزالة القوس الكهربي، ويبين الشكل ٣ ـ ٥ توضيحاً لمبدأ الحد من تيار القصر في المصهرات المحددة للتيار، حيث:



شكل ٣ ـ ٥ مبدأ الحد من تيار القصر

I_D : أقصى تيار يسمح المصهر بمروره، ويعرف باسم تيار القطع Cut-off أو تيار الذروة المسموح بمروره Peak let-through.

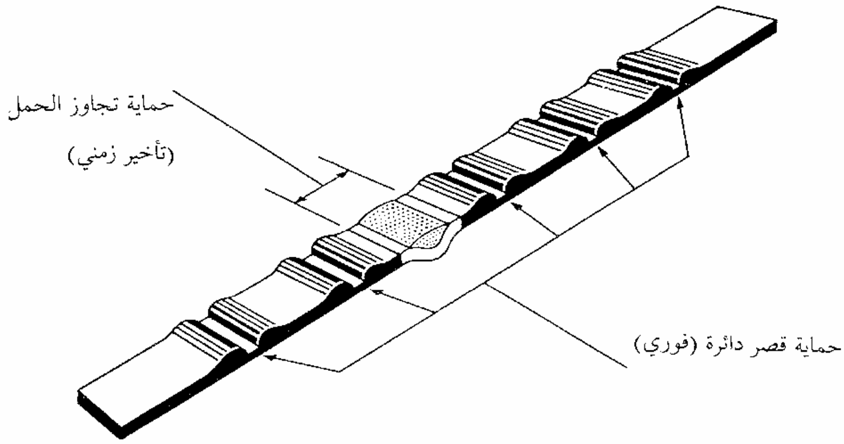
I_P : القيمة الذروية لتيار القصر المتوقع. وهي تمثل القيمة الذروية للدورة الأولى من موجة تيار القصر الذي كان سيمر في الدائرة بدون وجود المصهر، والقيمة الفعالة المناظرة لها هي I_{Prms}.

t_m : زمن الانصهار. وهو الزمن المنقضي من لحظة القصر حتى لحظة إتمام الانصهار.

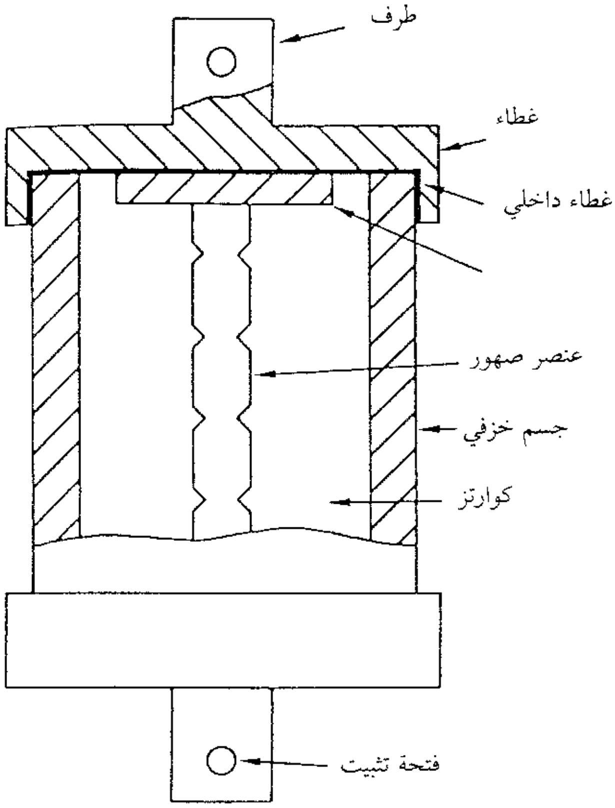
t_a : زمن دوام القوس الكهربي.

t_c : زمن إزالة القصر. وهو الزمن المنقضي من لحظة القصر حتى تمام إزالة القوس.

تحتوي أغلب مصهرات الجهد المنخفض الحديثة على عنصر صهـور مـزدوج Dual element كما هـو مبين بالشكـل ٣ ـ ٦. يتكون هـذا العنصر من جزئين من النحاس، كل جزء عبارة عن شريط به عدد من المناطق ذات مقطع منخفض وذلك للحماية من تيارات القصـر. يفصل بين هـذين الجزئين جـزء معدني من الفضة أو من سبيكة خاصة لها درجة انصهار منخفضة للحمايـة من تيارات تجاوز الحمل التي تكون أقل من تيارات القصر بحيث يسمح لها بالدوام لفترات أطول. تعرف هذه السبيكة بعنصر التأخير الـزمني Time lag element. يبين الشكل ٣ ـ ٧ الشكل العام والمكونات الأساسية للمصهر المحدد للتيار.



شكل ٣ ـ ٦ عنصر صهور مصهـر محدد للتيار جهد منخفض



شكل ٣ ـ ٧ مصهر محدد للتيار

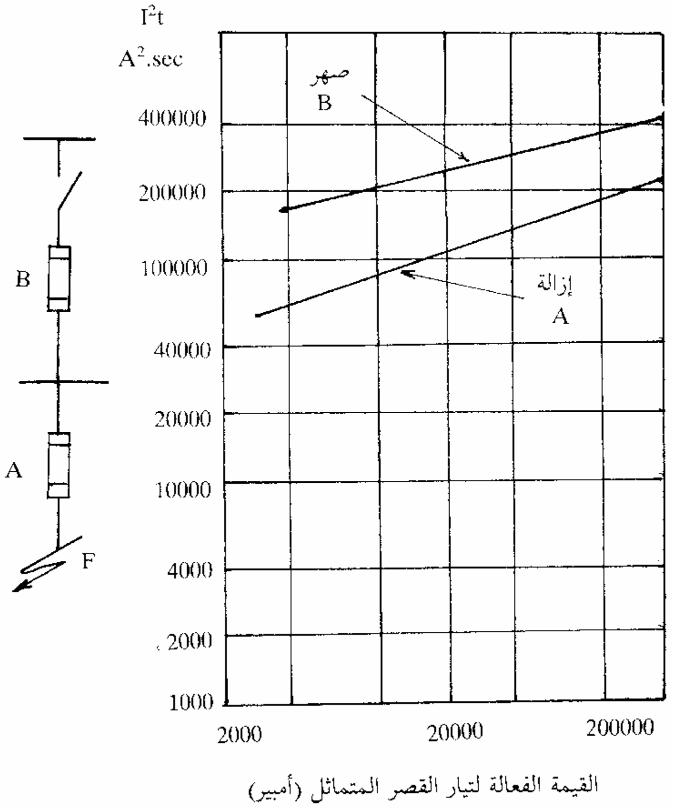
٣ ـ ٤ المنحنيات الخصائصيـة ـ الخرائط ـ الجداول:

يزود صانعو المصهرات المهندسين الذين يستخدمون تلك المصهـرات بمجمـوعة من المنحنيـات والخـرائط والجـداول تمكنهم من الاختيـار السليم للمصهر، كما تساعدهـم في عملية التنسيق سواء بين المصهرات وبعضها أو بين المصهرات وأجهزة الحماية الأخرى. هذه البيانات مبنيـة إما على الاختبـارات والقياسات العملية في المصنع وإما على معادلات الأداء، وهي معادلات معقدة ومطولة بحيث أنه من غير العملي الاستفادة منها في مجال استخدام المصهر.

٣ ـ ٤ ـ ١ جداول المقننات:

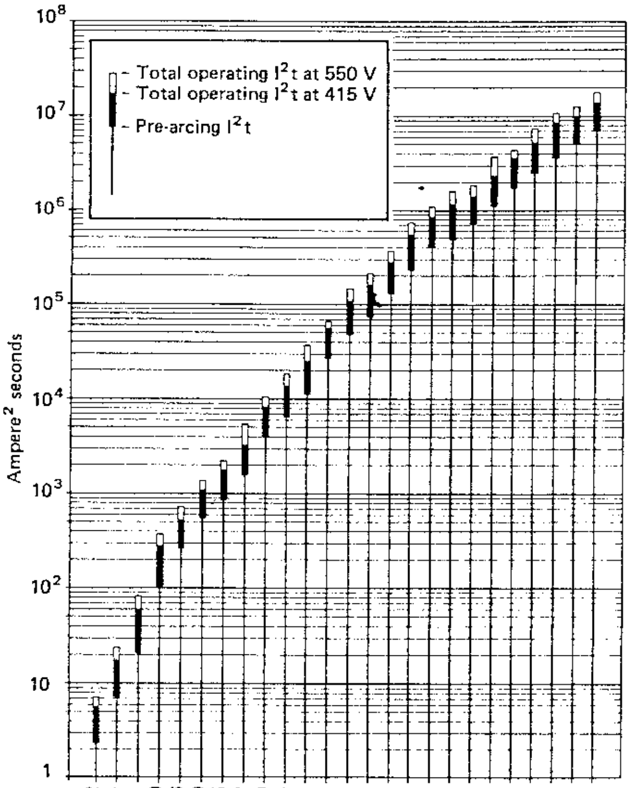
تحتـوي هـذه الجـداول على مقننـات المصهـر التي تم ذكـرهـا في البند ٣ ـ ٢. يحتوي الجدول عادة على رمز المصهر (Class) تبعاً للمواصفـات

الوطنية للشركة الصانعة أو تبعاً لإحدى المواصفات العالمية. كما يحتوي على مقنن التيار ومقنن الجهد ومقنن القطع بالإضافة إلى مقنن الحد من التيار ومقنن الطاقة (مقنن I^2t). تمثل هذه الكمية حاصل ضرب مربع أقصى تيار قصر متوقع × الفترة الزمنية من لحظة القصر وحتى بدء القوس (أو من لحظة القصر وحتى إزالة القوس). هذه القيمة هي مقياس للطاقة الداخلة إلى المصهر أثناء فترة القصر. ويمكن الاستفادة من هذه القيمة في عملية التنسيق بين المصهرات وبعضها. نذكر على سبيل التوضيح المثال المبين بالشكل ٣ ـ ٨ الذي يبين



شكل ٣ ـ ٨ تنسيق بين مصهرين باستخدام I^2t

مصهرين A و B على التوالي. لكي تتم عملية التنسيق بين المصهرين يجب أن بسبب القصر عند F فتح المصهر A (انصهاره وإزالة القوس) قبل انصهار المصهر B. إن هذا يعني أن طاقة الإزالة للمصهر A أقل من طاقة الانصهار للمصهر B. مقياس هذه الطاقة هي الكمية I^2t. يمكن الاستفادة أيضاً من الكمية I^2t في تحديد مقننات الأجهزة التي يتم حمايتها بواسطة المصهر كالكابلات مثلاً. يعطي الجدول ٣ ـ ١ مقننات بعض المصهرات تبعاً للمواصفات الأمريكية، ويعطي الشكل ٣ ـ ٩ خريطة نمطية يمكن استعمالها لتحديد الكمية I^2t للمصهر. تجدر الإشارة هنا إلى ضرورة إستخدام البيانات المقدمة من المصنع وعدم الاعتماد على أية بيانات أخرى.



شكل ٣ ـ ٩ I^2t للمصهرات

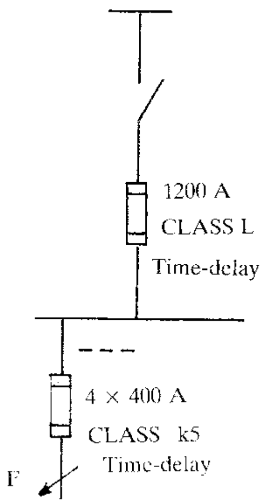
جدول ٣ ـ ١ مقننات بعض المصهرات تبعاً للتوصيف الأمريكي (UL)

Class	Fuse Rating (amperes)	I_p (amperes)	I^2t (amperes squared-seconds)
J	30	7 500	7×10^3
	60	10 000	30×10^3
	100	14 000	80×10^3
	200	20 000	300×10^3
	400	30 000	1100×10^3
	600	45 000	2500×10^3
K1	30	10 000	10×10^3
	60	12 000	40×10^3
	100	16 000	100×10^3
	200	22 000	400×10^3
	400	35 000	1200×10^3
	600	50 000	3000×10^3
K5	30	11 000	50×10^3
	60	21 000	200×10^3
	100	25 000	500×10^3
	200	40 000	1600×10^3
	400	60 000	5000×10^3
	600	80 000	$10\,000 \times 10^3$
K9	30	14 000	50×10^3
	60	28 000	250×10^3
	100	35 000	650×10^3
	200	60 000	3500×10^3
	400	80 000	$15\,000 \times 10^3$
	600	130 000	$40\,000 \times 10^3$

٣ ـ ٤ ـ ٢ الجداول الانتقائية:

تعطي مصانع المصهرات أحياناً جداول تعرف باسم الجداول الانتقائية Selectivity tables. يمكن عن طريق استخدام هذه الجداول التنسيق بين مصهرين ـ أو أكثر ـ من المصهرات التي ينتجها هذا المصنع بالذات. ولا يجوز استخدام تلك الجداول إلا للمصهرات التي وُضعت من أجلها. لا توجد صورة واحدة لتلك الجداول، وإنما يجب اتباع التعليمات الخاصة باستخدام كل جدول. سوف نعطي على سبيل توضيح الفكرة مثالين لاستخدام الجداول الانتقائية في التنسيق.

يستخـدم المثـال الأول الجـدول الانتقـائي المبين (جـدول ٣ ـ ٢).
لاستخدام هذا الجدول في التنسيق بين المصهرين في الشكل ٣ ـ ١٠ نجد ما يأتي:

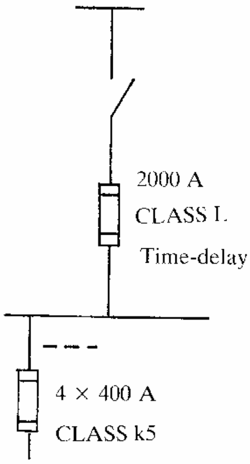


شكل ٣ ـ ١٠ تنسيق ممكن بين مصهرين (جدول ٣ ـ ٢)

- المصهر من ناحية المصدر Line side رمزه L Time-delay ومقننه ١٢٠٠ أمبير.
- المصهر من ناحية الحمل Load side رمزه K5 Time-delay ومقننه ٤٠٠ أمبير.
- النسبة بين تيار مصهر المصدر وتيار مصهر الحمل هي (١٢٠٠ ÷ ٤٠٠) = ٣ : ١.
- بالرجوع إلى جدول ٣ ـ ٢ نجد أنه يمكن التنسيق بين المصهرين بشرط ألا تزيد النسبة بين تيار مصهر المصدر وتيار مصهر الحمل عن ٤ : ١.
- نستنتج من ذلك أنه يمكن التنسيق بين المصهرين. إن ذلك يعني أنه لو حدث قصر عند F فإن مصهر الحمل سوف يفصل الدائرة ويزيل القوس الكهربي قبل

أن ينصهر مصهر الخط. لاحظ أنه لا توجد أي معلومات عن زمن الفصل للمصهرين.

من الواضح أنه لا يمكن التنسيق بين هذين المصهرين للشكل المبين بالشكل ٣ ـ ١١، حيث أن النسبة بين تيار مصهر المصدر وتيار مصهر الحمل ٥ : ١.



شكل ٣ ـ ١١ تنسيق غير ممكن بين مصهرين (جدول ٣ ـ ٢)

يبين المثال الثاني طريقة استخدام الجداول الانتقائية في التنسيق بين مصهرات الجهد المنخفض والجهد العالي المستخدمة في حماية محولات التوزيع. هذه الجداول تابعة لشركة سيمنز الألمانية.

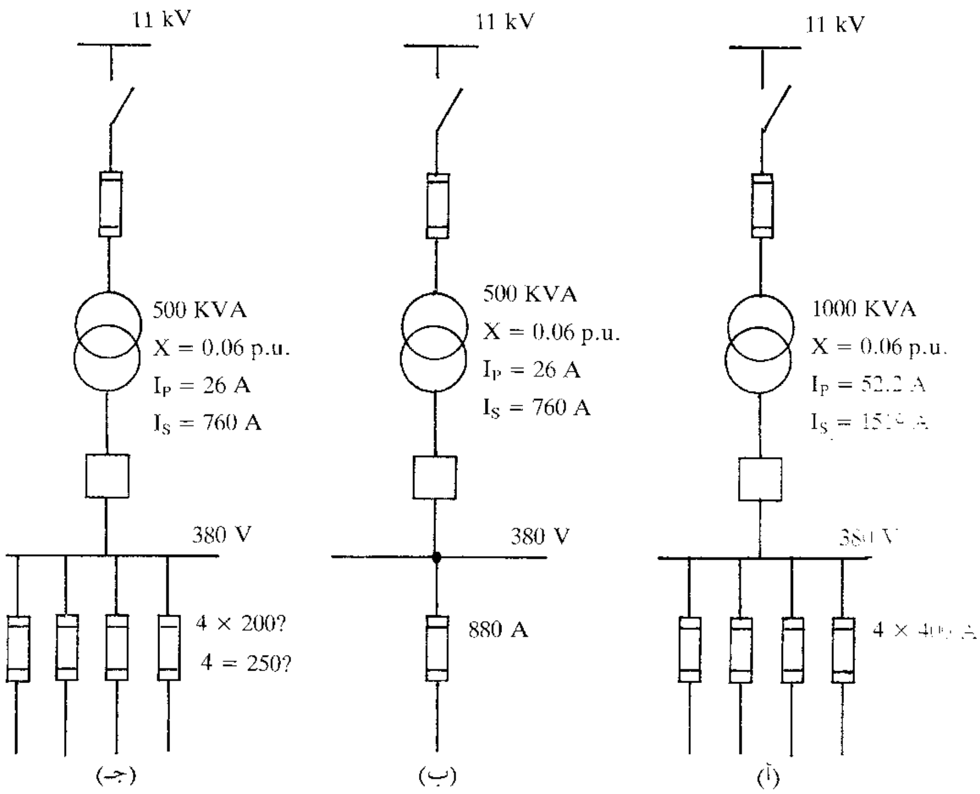
الجدول ٣ ـ ٣ يعطي طريقة اختيار مقنن المصهر على جانب الجهد العالي للمحول. يجب أن يقع مقنن المصهر بين قيمتي أقل تيار وأعلى تيار في الجدول.

ويبين الجدول ٣ ـ ٤ القيم المتناسقة بين مقننات تيار الجهد المنخفض وتيار الجهد العالي. لتوضيح استخدام هذين الجدولين نعتبر الشكل ٣ ـ ١٢.

في الشكل (٣ ـ ١٢ ـ أ) يتم حماية كل كابل من كابلات التغذية الأربعة بمصهر جهد منخفض مقننه ٥٠٠ أمبير. نجد من الجدول ٣ ـ ٤ أن مقنن مصهر الجهد العالي المتناسق مع مصهر الجهد المنخفض هو

١٠٠ أمبيـر. نعـود بعـد ذلـك إلى الجـدول ٣ ـ ٣ لنجـد أن المحـول سعـة ١٠٠٠ ك.ف.أ يتم حمايته بمصهر جهد عـالٍ تياره المقنن يقـع من ١٠٠ إلى ٢٠٠ أمبير. أي أن التنسيق يمكن أن يتم بين مصهر الجهد المنخفض ومصهر الجهد العالي.

بالإشارة إلى الشكل (٣ ـ ١٢ ـ ب) نجد أن مقنن مصهر الجهد العـالي يجب أن يكـون ١٦٠ أمبير لكي يتنـاسق مع مصهـر الجهد المنخفض (راجـع الجدول ٣ ـ ٤). وبالرجوع إلى الجدول ٣ ـ ٣ نجد أن مصهـر الجهد العـالي المنـاسب لحمـايـة محـول سعتـه ٥٠٠ ك.ف.أ يجب أن يكـون من ٦٣ إلى ١٠٠أمبير. نستنتج من ذلك أنه لا يمكن إجراء التنسيق باستخدام هذا النوع من المصهرات.



شكل ٣ ـ ١٢ استخدام الجداول الانتقائية للمصهرات في حماية المحولات

جدول ٣ ـ ٢ جدول انتقائي نمطي (UL)

	Load Side							
Line Side	Class L Time-Delay Fuse 601—6000 A	Class L Fuse 601—6000 A	Class K1 Fuse 0—600 A	Class J Fuse 0—600 A	Class K5 Time-Delay Fuse 0—600 A	Class K5 Time-Delay Current-Limiting Fuse 0—600 A	Class J Time-Delay Fuse 15—600 A	Class G Fuse 0—60 A
Class L Time-Delay Fuse 601—6000 A	2:1	2:1	2:1	2:1	4:1	3:1	3:1	—
Class L Fuse 601—6000 A	2:1	2:1	2:1	2:1	6:1	5:1	5:1	—
Class K1 Fuse 0—600 A			3:1	3:1	8:1	4:1	4:1	4:1
Class J Fuse 0—600 A			3:1	3:1	8:1	4:1	4:1	4:1
Class K5 Time-Delay Fuse 0—600 A			1.5:1	1.5:1	2:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
Class K5 Time-Delay Current-Limiting Fuse 0—600 A			1.5:1	1.5:1	4:1	2:1	2:1	2:1
Class J Time-Delay Fuse 15—600 A			1.5:1	1.5:1	4:1	2:1	2:1	2:1

جدول ٣ ـ ٣ حدود التيار المقنن لمصهرات الجهد العالي
المستخدمة لحماية المحولات ١١ ك.ف/٣٨٠ ف

قدرة المحول (ك.ف.أ)	أقل تيار مقنن للمصهر (أمبير)	أكبر تيار مقنن للمصهر (أمبير)
٥٠	١٦	١٦
١٠٠	٢٥	٤٠
٢٠٠	٤٠	٦٣
٢٥٠	٤٠	٦٣
٤٠٠	٦٣	١٠٠
٥٠٠	٦٣	١٠٠
٦٣٠	٦٣	١٦٠
٨٠٠	١٠٠	٢٠٠
١٠٠٠	١٠٠	٢٠٠

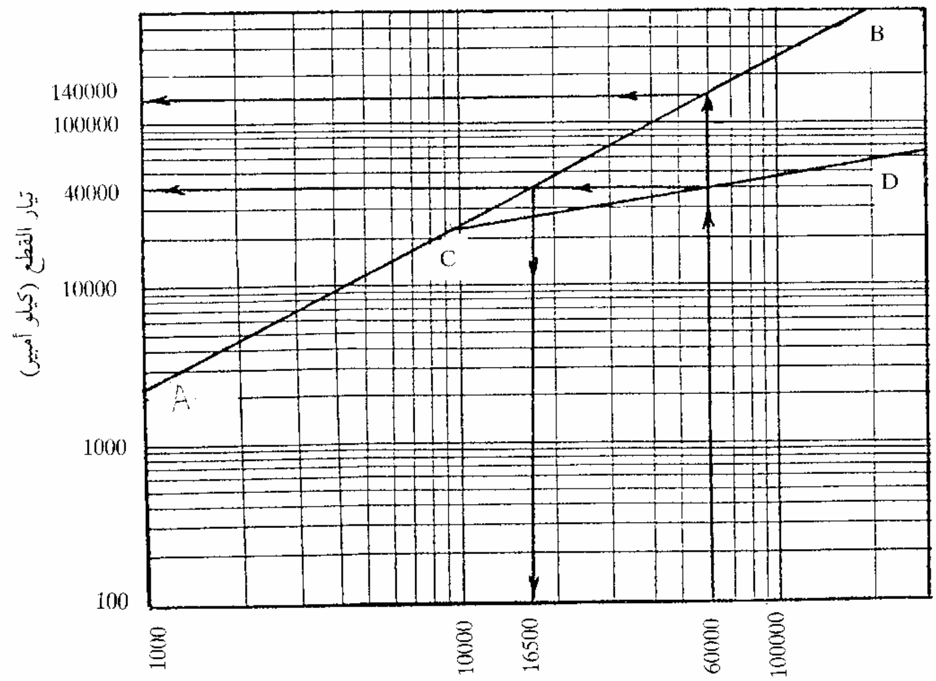
جدول ٣ ـ ٤ القيم المتناسقة للتيار المقنن لمصهرات
الجهد المنخفض ٣٨٠ ڤولت والجهد العالي ١١ ك.ف

مقنن مصهر الجهد المنخفض (أمبير)	مقنن مصهر الجهد العالي (أمبير)
٨٠	١٦
١٢٥	٢٥
١٦٠	٢٥
٢٠٠	٤٠
٢٥٠	٦٣
٤٠٠	١٠٠
٥٠٠	١٠٠
٦٣٠	١٢٥
٨٠٠	١٦٠
١٠٠٠	٢٠٠

أما بالنسبة للشكل (٣ ـ ١٢ ـ جـ) فلو افترضنا أن مقنن المصهر المطلوب لكل كابل هو ٢٠٠ أمبير فإن هذه القيمة لا يمكن أن تتناسق مع مصهـر الجهد العـالي التي يجب أن تكون ٤٠ أمبيـر وهي خارج حـدود القيم الموجـودة في الجدول ٣ ـ ٣ (٦٣ ـ ١٠٠ أمبير). أما إذا كان من الممكن استخدام مصهرات بمقنن ٢٥٠ أمبير على كابـلات التغذيـة فإنـه يمكن في تلك الحال إستخـدام مصهر بمقنن ٦٣ أمبير على جانب الجهد العالي من المحول.

٣ ـ ٤ ـ ٣ خريطة الحد من تيار القصر:

هي خريطة يمكن أن نقرأ عليها ثلاث كميات لمصهـر محدد للتيـار ذي مقنن معين. لتوضيح ذلـك نشير إلى الشكـل ٣ ـ ١٣. يربط هـذا الشكل بين الكميات الآتية لمصهر مقننه ٨٠٠ أمبير.



شكل ٣ ـ ١٣ خاصية الحد من التيار لمصهر مقننه ٨٠ أمبير

i ـ القيمة الفعالة المتوقعة لتيار القصر المتماثل.

ii ـ قيمة تيار القطع للمصهر.

iii ـ القيمة الذروية لتيار القصر غير المتماثل، وهو التيار الذي يمر في الدائرة في حالة عدم وجود المصهر.

يمثل الخط AB العلاقة بين القيمة الذروية لتيار القصر غير المتماثل والقيمة الفعالة المتوقعة لتيار القصر المتماثل عند معامل قدرة يساوي (٠,١٥). ويمثل الخط CD خاصية الحد من التيار للمصهر. يمكن الاستفادة من هذه الخريطة فيما يأتي:

أولاً : تعيين قيمة تيار القطع المناظر للقيمة الفعالة المتوقعة لتيار القصر المتماثل. يتبين من الشكل ٣ ـ ١٣ أن قيمة تيار القطع المناظرة لتيار قصر متماثل قيمته الفعالة ٦٠٠٠٠ أمبير هي ٤٠٠٠٠ أمبير.

ثانياً : تعيين القيمة الذروية لتيار القصر في حالة وجود المصهر المحدد للتيار، وهي تساوي ١٤٠ كيلو أمبير في المثال المشار إليه.

ثالثاً : يمكن عن طريق معرفة قيمة تيار القطع معرفة الإجهادات الكهرومغناطيسية التي تتعرض لها الأجهزة المختلفة أثناء القصر، حيث أن تلك الإجهادات تتناسب مع مربع قيمة أقصى تيار يمر في الجهاز (تيار القطع في هذه الحال).

رابعاً : تعيين القيمة الظاهرية لتيار القصر المتماثل، وهي قيمة تيار القصر المتماثل المناظرة لقيمة تيار القطع. تساوي هذه القيمة ١٦٥٠٠ أمبير على الشكل.

خامساً : يمكن عن طريق معرفة القيمة الظاهرية لتيار القصر المتماثل تحديد قيمة (I^2t) المشار إليها في البند ٣ ـ ٤ ـ ١، وذلك عن طريق ضرب مربع هذه القيمة × زمن نصف الدورة (أقصى زمن يتم فيه فصل القصر تماماً). وفي حالتنا هذه فإن هذه القيمة تساوي:

$$(I^2t) = (16500)^2 \left(\frac{1}{2}\times\frac{1}{50}\right) = 2722500\ A^2.sec$$

وتمثل هذه القيمة الحد الأعلى الذي سيفتح عليه المصهر الدائرة. وتبعاً لذلك فإن أي جهاز موجود في الدائرة التي يحميها هذا المصهر يجب أن يتحمل الكمية I^2t المحسوبة سابقاً. وتجدر الإشارة هنا أن جميع الأجهزة الساكنة (الكابلات ـ المحولات ـ قضبان التوزيع . . .) يجب أن تُعرف الكمية I^2t لها، وهي من البيانات الواجب معرفتها عند شراء مثل تلك الأجهزة، وذلك حتى يمكن عمل الحماية السليمة والآمنة لها. فإذا كان المصهر السابق يحمي كابل تغذية مثلاً، فيجب أن تكون الكمية I^2t لهذا الكابل أكبر من الكمية المحسوبة سابقاً.

تعطى الخريطة ٣ ـ ١٣ عادة لمجموعة من المصهرات من نفس النوع ذات مقننات مختلفة كما هو مبين بالشكل ٣ ـ ١٤.

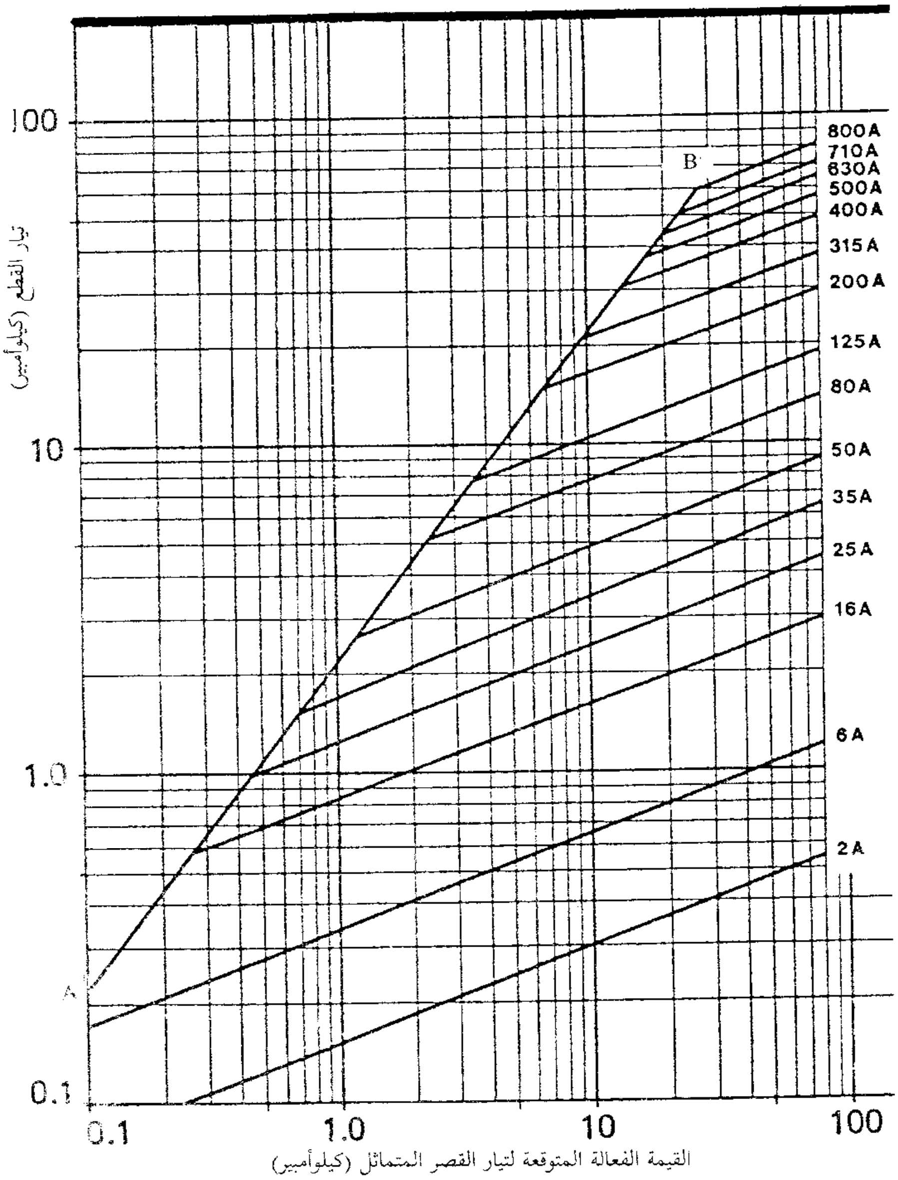
٣ ـ ٤ ـ ٤ منحنيات الزمن ـ التيار:

ترسم هذه المنحنيات على خريطة لوغارتيمية نظراً لاتساع مدى تغير كل من الزمن والتيار. ويختص كل مصهر بمنحنيين:

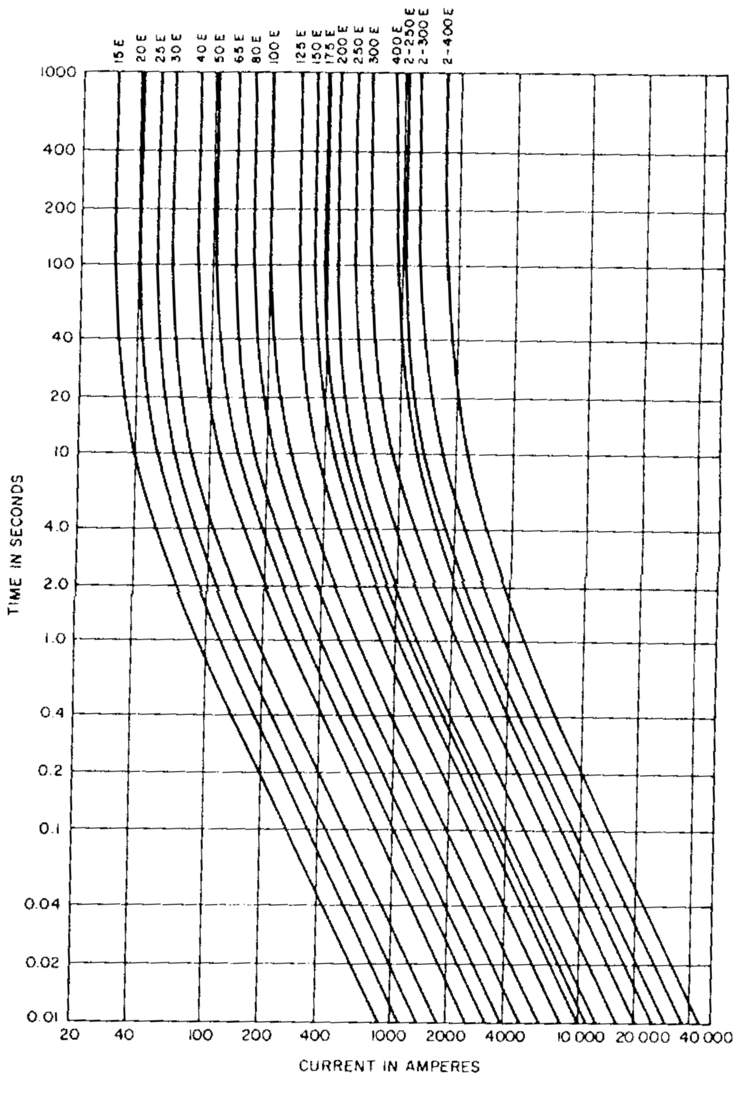
أ ـ منحنى الانصهار، ويبين العلاقة بين قيمة تيار القصر والزمن المنقضي من لحظة القصر حتى تمام انصهار عنصر الصهور.

ب ـ منحنى الإزالة، ويبين العلاقة بين قيمة تيار القصر والزمن المنقضي من لحظة القصر حتى تمام إزالة القصر وإطفاء القوس الكهربي.

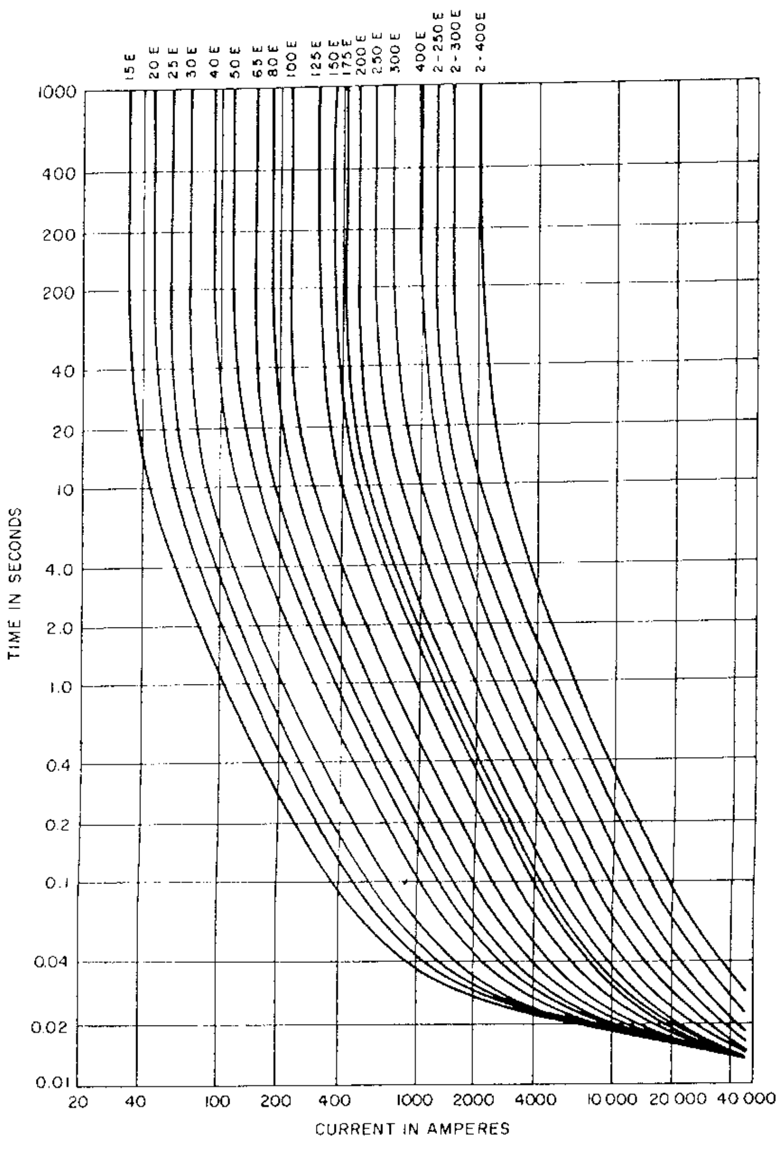
تعطي مصانع المصهرات هذه المنحنيات عادة لنوع معين من المصهرات ذات مقننات مختلفة. كما يمكن أن تكون منحنيات الانصهار منفصلة عن منحنيات الإزالة. تبين الأشكال من ٣ ـ ١٥ إلى ٣ ـ ١٨ منحنيات نمطية لمصهر جهد عالٍ رمزه E وبمقننات مختلفة. الرقم قبل الرمز E يعطي مقنن المصهر بالأمبير وذلك تبعاً للمواصفات الأمريكية UL.



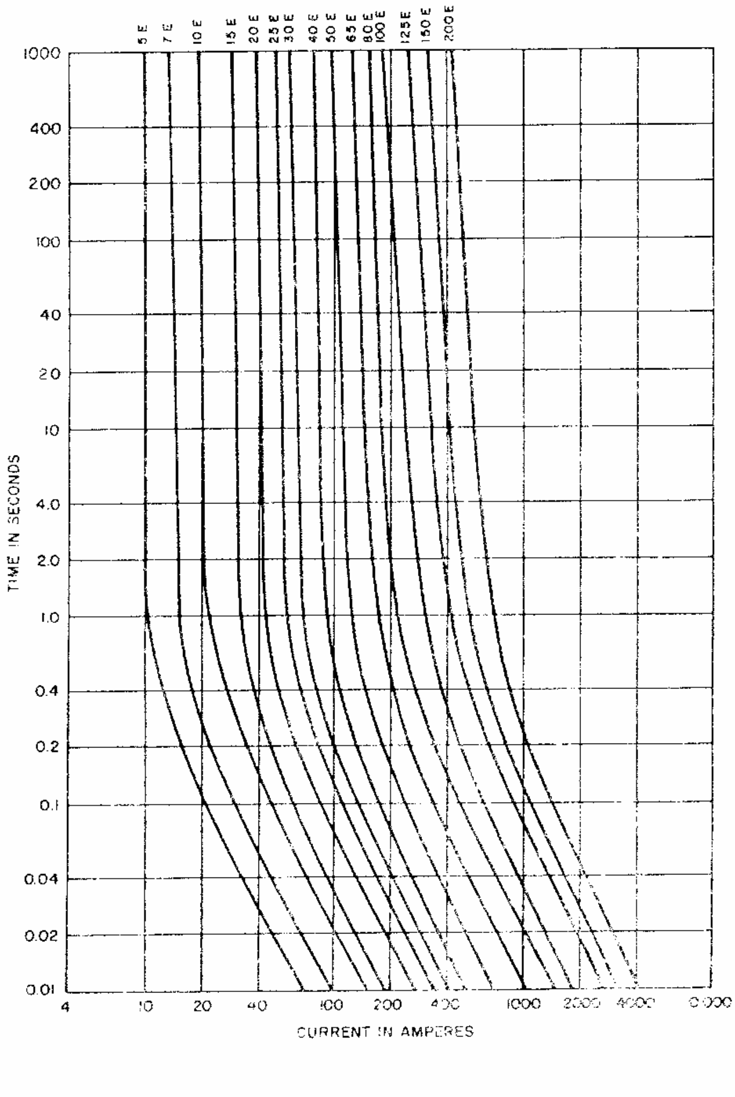
شكل ٣ ـ ١٤ خريطة الحد من تيار القصر لمجموعة مصهرات



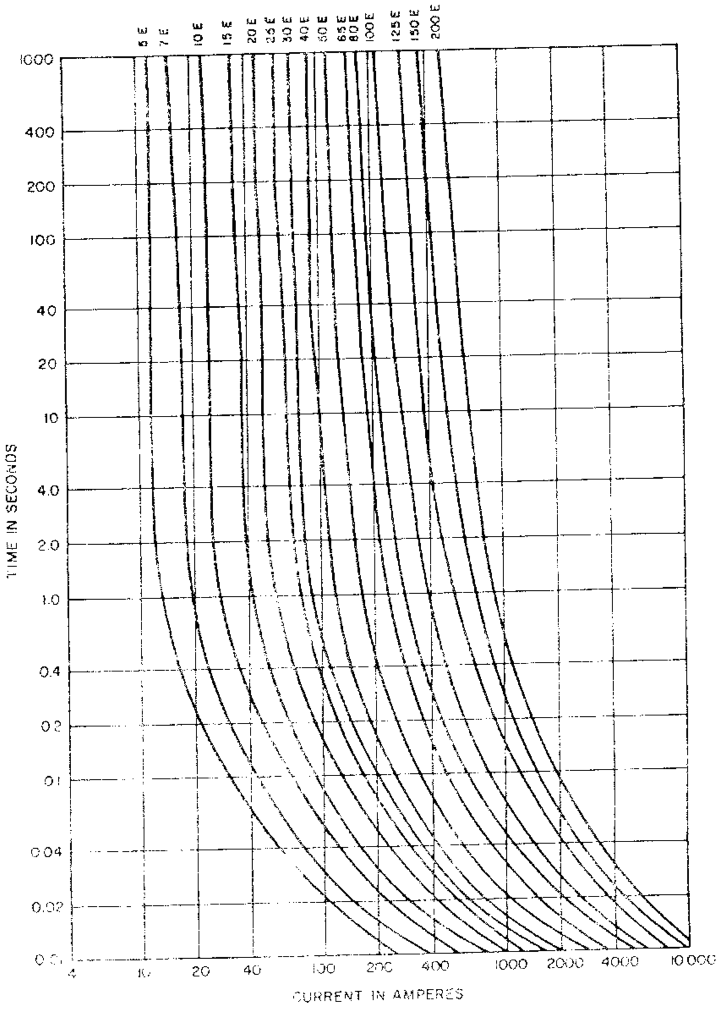
شكل ٣ ـ ١٥ منحنيات زمن الانصهار ـ التيار لمصهر جهد عال غير محدد للتيار (حامض البوريك)



شكل ٣ ـ ١٦ منحنيات زمن الإزالة ـ التيار لمصهر جهد عال غير محدد للتيار (حامض البوريك)
(مكمل للشكل ٣ ـ ١٥)

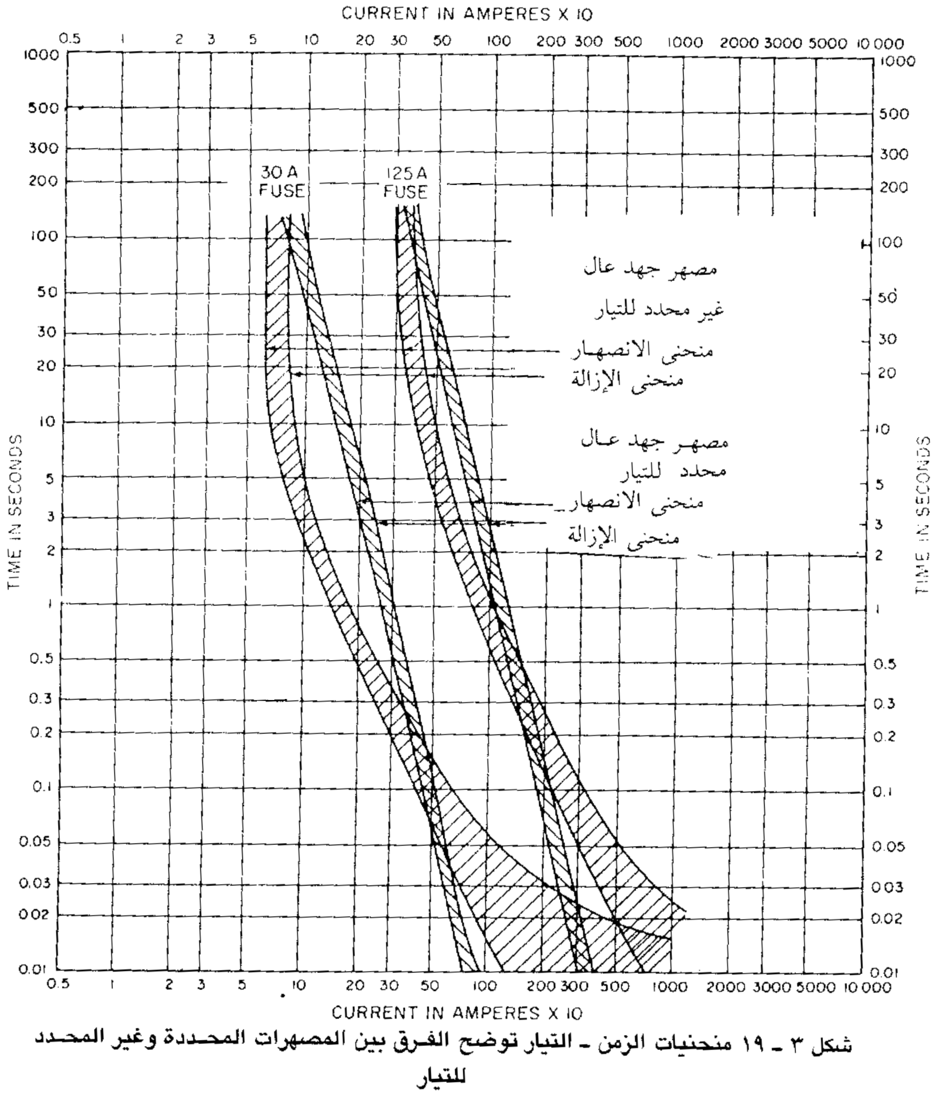


شكل ٣ ـ ١٧ منحنيات زمن الانصهار ـ التيار لمصهر جهد عال محدد للتيار



شكل ٣ ـ ١٨ منحنيات زمن الإزالة ـ التيار لمصهر جهد عال محدد للتيار (مكمل للشكل ٣ ـ ١٧)

يعطي الشكل ٣ ـ ١٩ توضيحاً للفارق الزمني بين منحنى الانصهار ومنحنى الإزالة لمصهر بمقنن ٣٠ أمبير ومصهر بمقنن ١٢٥ أمبير. ويعطي الشكل المنحنيين لكل مقنن تيار مرة لمصهر غير محدد للتيار ومرة لمصهر محدد للتيار.



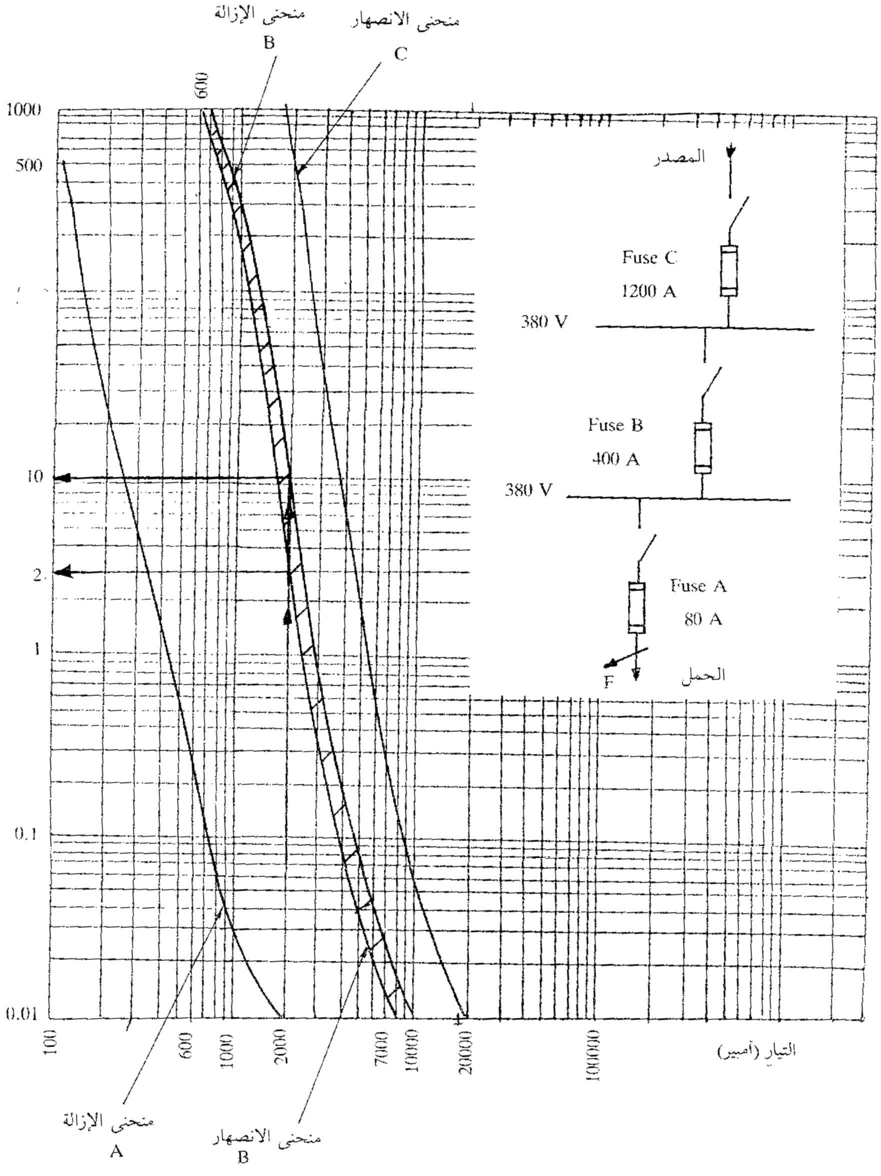
شكل ٣ ـ ١٩ منحنيات الزمن ـ التيار توضح الفرق بين المصهرات المحددة وغير المحدد للتيار

تستخدم منحنيات الزمن ـ التيار للمصهرات في إجراء التنسيق الزمني بين المصهرات وبعضها أو بين المصهرات وقواطع الدائرة والمرحلات، وسوف ندرس هذا الموضوع بتفصيل شامل في الباب السابع.

لكي يتم التنسيق بين مصهر وآخر على التوالي يجب أن يكون منحنى الإزالة للمصهر الموجود جهة الحمل بأكمله أسفل منحنى الانصهار للمصهر الموجود جهة المصدر. يبين الشكل ٣ ـ ٢٠ طريقة إجراء تنسيق زمني بين ثلاثة مصهرات على التوالي. يتبين بدراسة الشكل ٣ ـ ٢٠ أن المصهر B ينصهر بعد فترة زمنية طويلة من إزالة القصر للمصهر A. نأخذ على سبيل المثال تيار قصر عند الحمل مقداره ٢٠٠٠ أمبير (القيمة الفعالة). يزيل المصهر A هذا القصر في فترة زمنية مقدارها ٠,٠١ ثانية. إذا لم ينصهر المصهر A وينجح في إزالة القصر في تلك الفترة فإن المصهر B ينصهر بعد فترة زمنية مقدارها ثانيتان ويزيل القصر بعد ١٠ ثوان من لحظة وقوعه.

نود أن نشير هنا إلى أن منحنيات الزمن ـ التيار للمصهرات ليست على درجة كبيرة من الدقة مثل المنحنيات الخاصة بالمرحلات مثلاً. وكثيراً ما يعطي مصنع المصهرات حدود تفاوت في التصنيع مع تلك المنحنيات (في حدود ± ٥٪ إلى ١٠٪). كما نجد بعض المنحنيات تعطى على شكل منطقة وليست خطاً واحداً. ويُراعى ذلك عند استعمال النشرات الفنية الخاصة بالمصهرات.

تجدر الإشارة أيضاً إلى منحنيات الزمن ـ التيار معطاة على أساس عدم وجود تيار قبل حدوث القصر. وعلى ذلك فإن التنسيق الدقيق بين أجهزة الحماية قد يحتاج إلى تعديل في تلك المنحنيات إذا كانت الأجهزة محملة تحميلاً زائداً قبل القصر أو في درجات الحرارة العالية. ويجب اعتبار ذلك والاستعانة بالبيانات السليمة من مصنع المصهرات.



شكل ٣ ـ ٢٠ التنسيق بين ثلاثة مصهرات باستخدام منحنيات الزمن ـ التيار

٣ ـ ٥ اختيار المصهر ـ اعتبارات عامة:

يتم اختيار المصهر بصفة عامة تبعاً للمقننات المذكورة في البند ٣ ـ ٢. كما يتم الاستعانة عادة بالجداول والمنحنيات والخرائط المذكورة في البند ٣ ـ ٤. يراعى عند الاختيار العوامل والملاحظات الآتية:

١ ـ يجب معرفة النسبة من تجاوز التيار المقنن التي يتحملها المصهر باستمرار دون أن تتغير خصائصه أو يفتح الدائرة. يجب ألا تقل قيمة هذا التيار عن ١١٠٪ من التيار، وقد تصل قيمة التيار الذي يتحمله المصهر باستمرار إلى ٢٠٠٪ من التيار المقنن في بعض المصهرات (الرتبة E في المواصفات الأمريكية).

٢ ـ يجب اختيار المصهر ذي أقل مقنن تيار ممكن بحيث يتحمل التيار المقنن وتجاوز الحمل المسموح. وتجدر الإشارة إلى أن استخدام مصهر ذي مقنن تيار أكبر من اللازم يؤدي إلى حماية رديئة.

٣ ـ عند توصيل مصهر ذي جهد عالٍ (أكبر من ٦٠٠ ڤولت) على كابل تغذية، يجب ألا يتعدى مقنن التيار للمصهر قيمة معينة تحددها المواصفات. تؤخذ هذه القيمة في المواصفات الأمريكية (NEC 240 - 100) بستة أمثال قدرة حمل التيار للكابل. إن هذا يضمن عدم تعرض الكابل لإجهادات حرارية عالية.

٤ ـ تتحدد قيمة مقنن تيار القطع بحيث تكون أكبر من أعلى قيمة متوقعة لتيار قصر الدائرة. ويجب ملاحظة أنه إذا زاد تيار القصر عن سعة القطع فإن ذلك يؤدي إلى انفجار المصهر ونشوب حريق.

٥ ـ تيار القصر الذي يمكن أن يقطعه المصهر بوثوق بحيث يمكن الاعتماد على هذا المصهر في الحماية يجب ألا يقل عن ثلاثة أمثال التيار المقنن (يؤخذ عادة من ٣,٢٥ إلى ٤ أمثال التيار المقنن).

٦ ـ تتعرض مصهرات الجهد العالي المحددة للتيار وكذلك الأجهزة والآلات التي تحميها إلى جهود عالية أثناء عملية قطع التيار بسبب الارتفاع العابر في

الجهد المستعاد Transient recovery voltage الذي يظهر بين طرفي المصهر. ويجب ـ تبعاً لذلك ـ عدم استعمال مصهرات محددة للتيار ذات جهد عالٍ بمقنن جهد أعلى من الجهد الإسمي للشبكة الموصل عليها. إن هذه الظاهرة تأثيرها أقل بكثير في مصهرات الجهد المنخفض بحيث يمكن السماح قليلاً بتجاوز مقننات الجهد.

٧ ـ يراعى عند استعمال مصهرات لحماية أجهزة لها خاصية ارتفاع التيار العابر كتيار البدء في المحركات أو تيار المغنطة المندفع Magnetizing inrush current في المحولات أن تكون تلك المصهرات ذات تأخير زمني حتى يمكن اختيار مقنن المصهر قريباً (أعلى قليلاً) من مقنن الجهاز دون أن يفتح المصهر الدائرة بسبب التيار المندفع. يمكن الاستفادة في هذا المجال بمنحنى الزمن ـ التيار للمصهر، حيث يجب أن تقع النقطة التي تمثل التيار المندفع أسفل منحنى الانصهار للمصهر. يوضح الشكل ٣ ـ ٢١ تلك الفكرة. المصهر المبين بالشكل يحمي المحول. يمكن اعتبار تيار المغنطة المندفع ١٢ مرة من تيار الحمل المقنن للمحول ويستمر هذا التيار لفترة زمنية مقدارها ١ , ٠ ثانية من لحظة توصيل المحول على الشبكة. لكي لا يفصل المصهر الدائرة بسبب هذا التيار يجب أن يقع منحنى انصهاره مع الزمن فوق إحداثيات النقطة التي تمثل هذا التيار.

التيار المقنن للمحول I_n

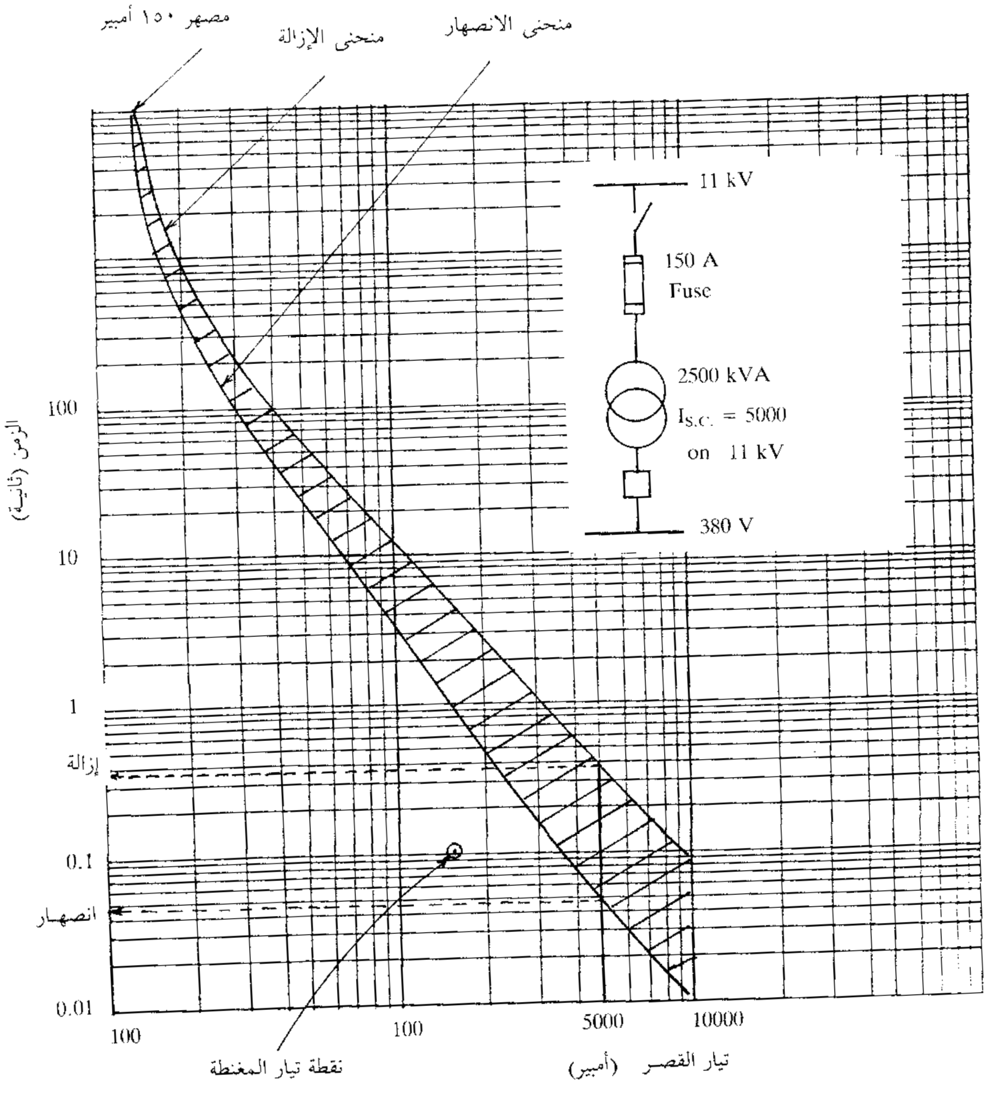
$$I_n = \frac{2500}{\sqrt{3}(11)} = 131.2 \text{ A}$$

تيار المغنطة المندفع I_M

$$I_M = 12 \times I_n = 1574.4 \text{ A for } 0.1 \text{ sec.}$$

نختار مصهر بمقنن تيار ١٥٠ أمبير ومقنن قطع لا يقل عن تيار القصر على أطراف المحول. أقصى تيار قصر على المحول هو $I_{S.C}(Max)$، ونحصل عليه من حسابات قصر الدائرة (فرضنا أنه يساوي ٥٠٠٠ أمبير للتوضيح).

٨ ـ يراعى عدم استعمال مصهرين على التوازي. وإذا اقتضت الضرورة



شكل ٣ ـ ٢١ حماية محول بواسطة مصهر على جانب الجهد العالي

القصوى ذلك فيجب مراجعة مصنع المصهرات للتأكد من إمكانية استعمال مصهرين متشابهين على التوازي .

٩ ـ قد تضطرنا الظروف في بعض الأحيان إلى اختيار مصهرات بزمن فصل أكبر من اللازم بسبب خطة التنسيق . يجب في تلك الحال التأكد من أن هذا التأخير لن يسبب إجهادات حرارية أو كهرومغناطيسية ضارة على أجهزة الشبكة . يمكن الاستعانة في ذلك إما بالكمية I^2t لكل جهاز أو بالمقارنة بين منحنى الزمن ـ التيار للمصهر ومنحنى الإتلاف Damage curve للجهاز . سوف نتناول ذلك بالتفصيل في الباب السابع .

١٠ ـ نظراً للقدرة العالية لمصهرات الحد من التيار فيجب الانتباه جيداً لمتانتها الميكانيكية وسلامة تثبيتها في الدائرة . وتعرف هذه المصهرات عادة باسم المصهرات ذات قدرة القطع العالية High rupturing capacity fuse (H.R.F) .

قواطع دائرة الجهد المنخفض

Low Voltage Circuit Breakers

٤ ـ ١ مدخل عام:

يعرف قاطع الدائرة Circuit-breaker في المواصفات العالمية على أنه جهاز فتح (وقفل) ميكانيكي له القدرة على توصيل وحمل وقطع التيار تحت ظروف التشغيل العادية، وكذلك له القدرة على توصيل وحمل، لفترة زمنية محددة، وقطع التيار تحت ظروف التشغيل غير العادية والطارئة.

أهم حالات التشغيل غير العادية هي:

أ ـ تجاوز الحمل Overloading، حيث يزيد الحمل على مكونات الشبكة زيادة غير كبيرة. ويمكن في تلك الحال أن تتحمل معظم الأجهزة كالكابلات والمحولات تلك الزيادة لفترات طويلة نسبياً قد تتعدى الساعة أحياناً.

ب ـ قصر الدائرة، يحدث عن قصر الدائرة ارتفاعات كبيرة ومفاجئة في تيار الشبكة. ويجب في تلك الحال التخلص من هذا القصر بأسرع ما يمكن، حيث أن معظم الأجهزة لا تتحمل تيارات القصر إلا لثوان قليلة على أكبر تقدير.

جـ ـ حالات الهبوط الشديد في الجهد.

بالرغم من التنوع الشديد في أحجام وأشكال وتصميم قواطع الدائرة، إلا أنها تشترك كلها في نقطتين أساسيتين هما الهدف من استخدام القاطع والمكونات الأساسية للقاطع.

تحتوي جميع قواطع الدائرة على المكونات الأساسية الآتية:

أ ـ آلية التشغيل.

ب ـ وحدة إطفاء القوس الكهربي.

جـ ـ تلامسات.

د ـ الإطار أو الصندوق الخارجي.

هـ ـ وحدة التحكم أو الإعتاق.

يتم تصنيف القواطع عادة تبعاً للوسط الذي يتم فيه إطفاء القوس الكهربي، كما يتم تبويب القواطع تبعاً لجهد التشغيل المقنن وذلك على النحو التالي:

أولاً: تبعاً لوسط إطفاء القوس الكهربي كما يأتي:

أ ـ قواطع هوائية Air circuit breakers.

ب ـ قواطع ذات أقل حجم زيت Minimum-oil circuit breakers.

جـ ـ قواطع مفرغة Vacuum circuit breakers.

د ـ قواطع سادس فلوريد الكبريت Sulphur hexafluoride (SF_6) C.B.

هـ ـ قواطع دفع هوائي Air-blast circuit breakers.

ثانياً: تبعاً لجهد التشغيل كما يأتي:

أ ـ قواطع جهد منخفض (حتى ٦٠٠ ـ ١٠٠٠ ڤولت) Low voltage C.B.

ب ـ قواطع جهد متوسط (من ١ إلى ٣٣ ك.ڤ) Medium voltage C.B.

جـ ـ قواطع جهد عال (من ٣٣ إلى ٢٤٠ ك.ڤ) High voltage C.B.

د ـ قواطع جهد فائق (أكبر من ٢٤٠ ك.ڤ) Extra high voltage C.B.

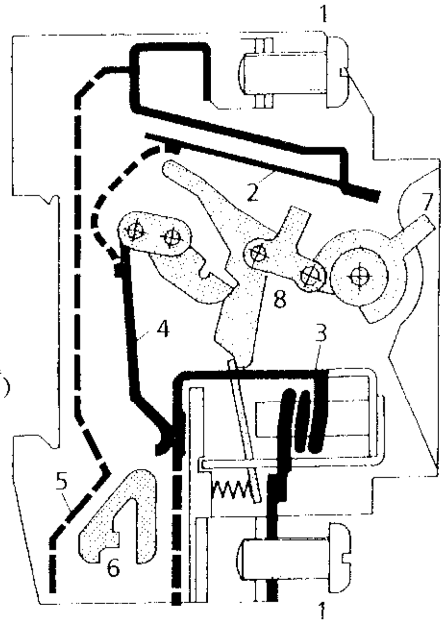
إن جميع قواطع الجهد المنخفض قواطع هوائية، حيث يتم إخماد القوس الكهربي في الهواء تحت الضغط العادي. أما قواطع الجهد المتوسط فتوجد عادة من أحد الأصناف الأربعة الأخرى. ولقد جرى العرف على أنه عندما يذكر اسم قاطع جهد منخفض فيُفهم مباشرة أن هذا القاطع هوائي.

يتم تصنيع قواطع الجهد المنخفض على صورة جهاز متكامل يحتوي على جميع المكونات الأساسية له داخل صندوقه الخارجي (وتعرف بإسم

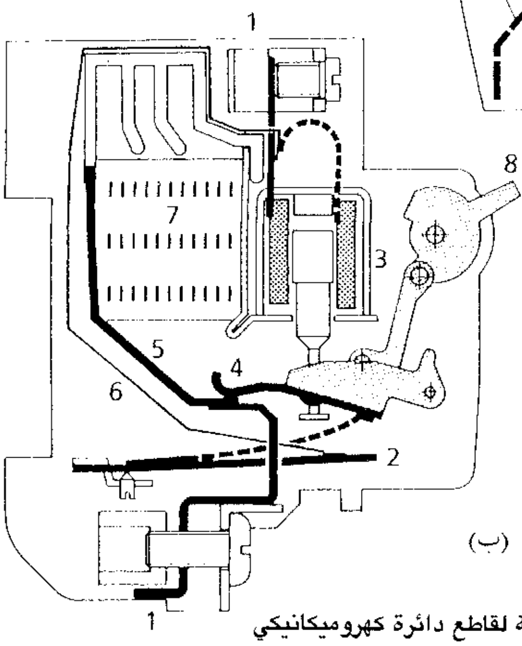
قواطع الإعتاق المباشر). أما قواطع الجهـد الأعلى من ذلك فيتم التحكم في ميكانيكية التشغيل عادة بواسطة وحدة تحكم خارجية تتكون من محـولات تيار وجهد ومرحل Relay يتحكم في تشغيل دائرة الإعتاق Trip circuit التي تتحكم بدورها في آلية فتح القاطع.

يبين الشكل ٤ ـ ١ المكونات الأساسية لقواطع الجهد المنخفض، ويبين الشكل ٤ ـ ٢ فكرة التحكم في قاطع عن طريق دائرة إعتاق.

١ ـ أطراف.
٢ ـ إعتاق حراري.
٣ ـ إعتاق مغناطيسي.
٤ ـ ذراع تلامس.
٥ ـ مضمار القوس.
٦ ـ حد القوس.
٧ ـ مفتاح.
٨ ـ سقاطة.



(أ)

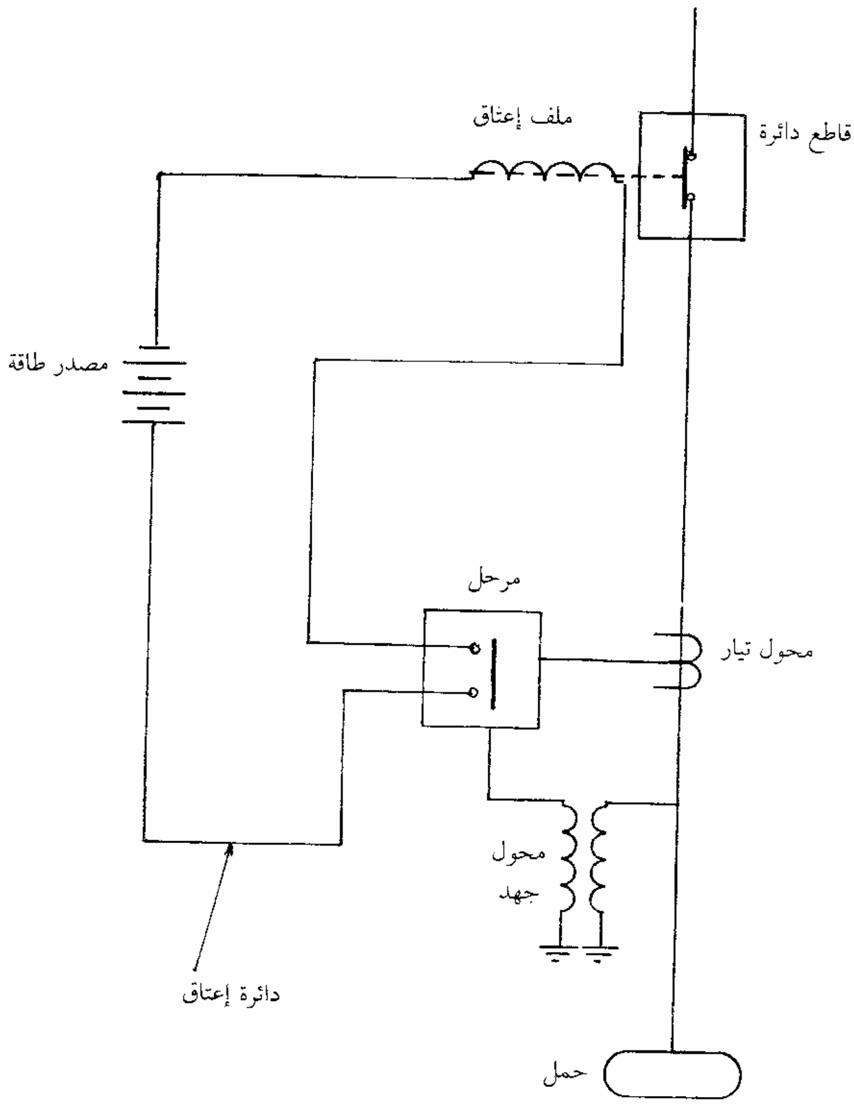


(ب)

١ ـ أطراف.
٢ ـ إعتاق حراري.
٣ ـ إعتاق مغناطيسي.
٤ ـ ذراع تلامس.
٥ ـ مضمار القوس.
٦ ـ مسار دفع.
٧ ـ غرفة تقسيم القوس.
٨ ـ مفتاح.

(أ) قاطع غير محدد للتيار.
(ب) قاطع محدد للتيار.

شكل ٤ ـ ١ المكونات الرئيسية لقاطع دائرة كهروميكانيكي



شكل ٤ ـ ٢ قاطع دائرة يعمل بدائرة إعتاق خارجية

يوجد طرازان من قواطع الجهد المنخفض:

أ - قواطع ذات صندوق مشكل Moulded-case circuit breakers (MCCB).

ب - قواطع قوى ذات جهد منخفض Low voltage power circuit breakers.

تتكون القواطع ذات الصندوق المشكل من وحدة متكاملة محكمة الغلق داخل صندوق محكم من مادة عازلة. وهي غير قابلة للفك أو الإصلاح أو الصيانة. ويجب استبدال القاطع بأكمله في حالة إصابته بأي عطب. إن هذا يحقق أمناً أكبر للأفراد وللشبكة.

أما قواطع القوى ذات الجهد المنخفض فتتكون من مجموعة من الوحدات القياسية Modular units بحيث يمكن استبدالها أو الإضافة إليها أو إجراء الصيانة عليها. ويمكن كذلك تغيير وحدة الإعتاق عند الحاجة تبعاً للتصميم. وهذا النوع من القواطع هو أكبر بصفة عامة من قواطع الصندوق المشكل.

٤ - ٢ مقننات قواطع الجهد المنخفض:

يتم اختيار قاطع الجهد المنخفض بصفة مبدئية تبعاً لمقنناته الرئيسية. ثم يتم بعد ذلك التحديدُ الدقيق لأنسب قاطع تبعاً لإمكانيات الضبط وخواص الزمن - التيار. المواصفات والمقننات الرئيسية لقواطع الجهد المنخفض هي ما يأتي:

١ - الجهد المقنن Rated voltage:

وهو الجهد الذي تنسب إليه سعة الفتح والقفل للقاطع (جهد الخط بالنسبة للنظام ثلاثي الأطوار). ويجب ملاحظة أن سعة الفتح والقفل قد تختلفان باختلاف جهد التشغيل. ويمثل الجهد المقنن عادة أقصى قيمة لجهد التشغيل المسموح به.

٢ - التردد المقنن Rated frequency:

وهو التردد الذي يتم على أساسه تصميم القاطع ووحدة الإعتاق فيه.

٣ ـ الجهد المقنن للعزل Rated insulation voltage:

وهو الجهد القياسي الذي يتم على أساسه تصميم الأجزاء العازلة في القاطع . وهو يعين أساساً لقواطع الجهد المنخفض نظراً لاختلافه عن الجهد المقنن،على عكس قواطع الجهد المتوسط والعالي التي يكون جهدها المقنن مساوياً تقريباً للجهد المقنن للعزل .

٣ ـ عدد الأقطاب Number of poles:

يمكن أن يكون القاطع بقطب واحد (خط واحد) أو أكثر حتى أربعة أقطاب .

٤ ـ التيار المقنن Rated current:

وهو التيار الذي يمكن أن يمر في القاطع باستمرار أثناء ظروف التشغيل العادية دون انقطاع ولفترة زمنية غير محدودة وذلك دون أن ترتفع درجة حرارة القاطع عن القيمة القصوى المقننة للقاطع ودون الحاجة إلى أي نوع من أنواع الصيانة (مثل تنظيف التلامسات) .

٥ ـ تيار الفتح المقنن Rated breaking current:

وهو يمثل القيمة الفعالة لتيار القصر المتماثل الذي يستطيع القاطع فصله بأمان . ويتم إعطاء قيم لهذا التيار عند جهود التشغيل المختلفة المسموح بها وكذلك عند معامل قدرة يتراوح بين (٠,٢ إلى ٠,٢٥)، وهو يمثل معامل القدرة للشبكة أثناء وجود القصر .

٦ ـ تيار القفل المقنن Rated making current:

وهو يمثل القيمة الذروية للتيار الذي يمكن أن يمر بالقاطع عند قفله . وتُعطى هذه القيمة عند جهود التشغيل المختلفة . وهذه القيمة ذات أهمية حيث أنه من المحتمل أن يتم قفل القاطع أثناء وجود قصر في الدائرة . تكون قيمة تيار القفل المقنن أكبر من قيمة تيار الفتح المقنن عادة .

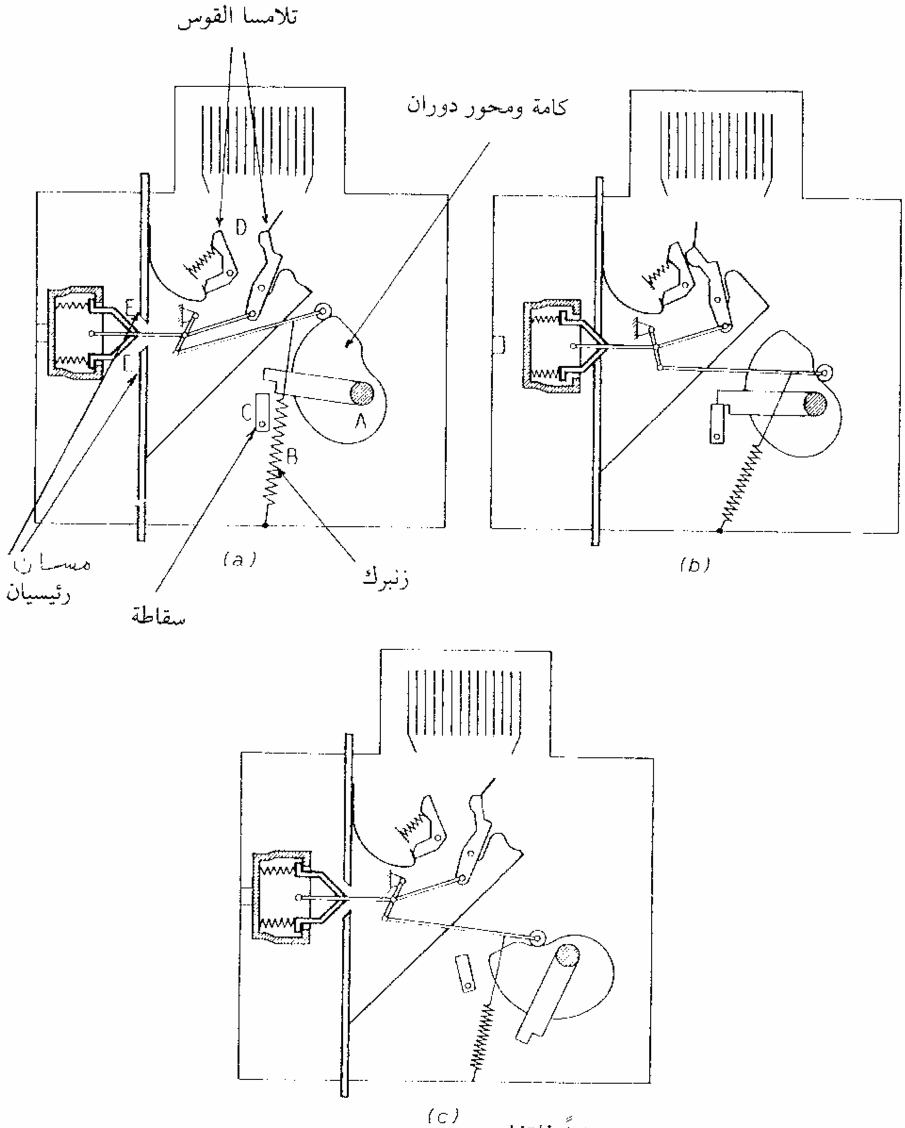
٧ ـ التيار المقنن لزمن قصير Rated short-time current:

وهو يمثل القيمة الفعالة القصوى للتيار المتماثل الذي يمكن أن يتحمله القاطع لفترة زمنية قصيرة. (من ١ ثانية إلى ٣ ثانية). وهذا التيار يعتبر مقياساً للتحمل الحراري للقاطع تحت ظروف القصر، وله أهمية كبيرة بالنسبة للقواطع المزودة بتأخير زمني في وحدة الإعتاق.

٤ ـ ٣ آلية التشغيل Operating mechanism:

إن العمل الأساسي لآلية التشغيل هو إيجاد وسيلة لفتح وقفل القاطع إما يدوياً وإما عن طريق وحدة الإعتاق. ويجب أن تكون هذه الآلية ذات خاصية فتح سريعة Quick-break وخاصية قفل سريعة Quick-make. إن ذلك يعني أن سرعة الفتح (أو القفل) باليد لا تعتمد على سرعة اليد التي تفتح القاطع وكذلك لا تعتمد على الطريقة التي يفتح بها القاطع سواء باليد أو عن طريق وحدة الإعتاق.

وتصمم القواطع على أن تكون آلية التشغيل حرة Trip-free، بمعنى أن منع مفتاح القاطع من الحركة وتثبيته في وضع التشغيل "ON" لا يمنع فتح تلامسات القاطع وعمل آلية التشغيل إذا جاءت إشارة من وحدة الإعتاق. ويتحدد وضع يد القاطع بثلاثة مواضع (TRIP-OFF-ON). يبين الشكل ٤ ـ ٣ توضيحاً لعمل آلية التشغيل.

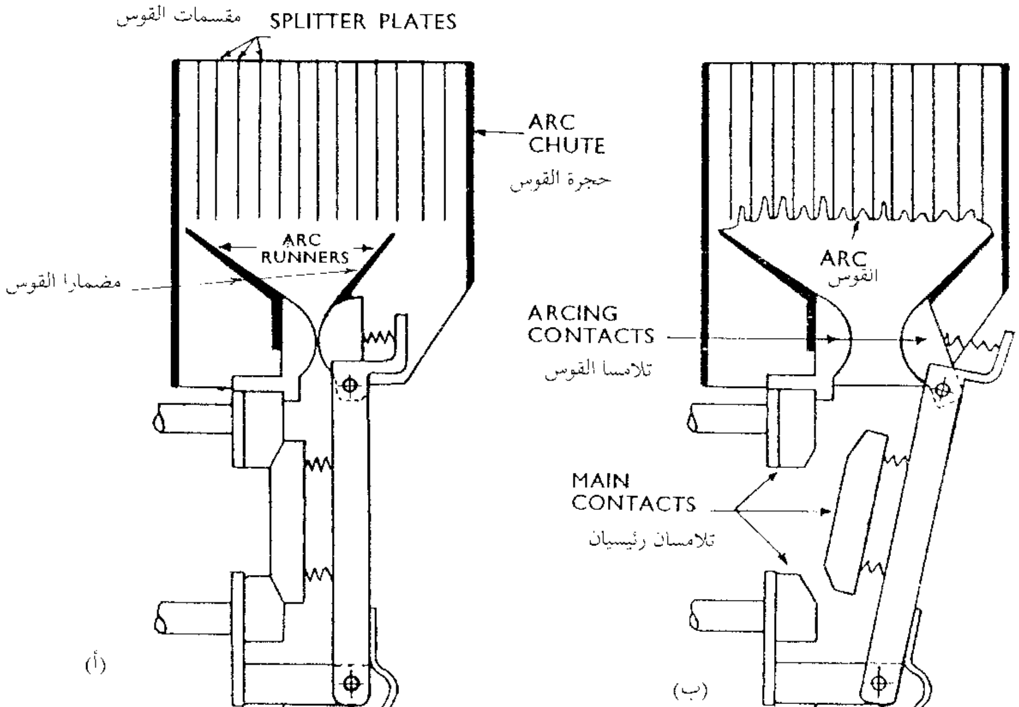


(a) الزنبرك عند أقصى شد استعداداً للقفل.
(b) القاطع مقفل والسقاطة C مقفلة والزنبرك B محمل.
(c) القاطع مفتوح والسقاطة C تحررت والزنبرك غير محمل.

شكل ٤ ـ ٣ رسم تخطيطي لعمل آلية التشغيل

٤ ـ ٤ وحدة إطفاء القوس Arc extinguisher

إن المبدأ الأساسي لعمل وحدة إطفاء القوس الكهربي في قواطع الجهد المنخفض هو جعل الجهد اللازم لبقاء القوس أكبر من الجهد المتاح. يتم ذلك عن طريق إطالـة القوس الكهـربي وتبريـده. يبين الشكل ٤ ـ ٤ حجـرة إطفاء القوس. تحتوي الحجرة على تلامسين للقوس، أحدهما ثابت والآخر متحرك. يتصـل التلامسـان بمضمارين للقـوس Arc runners. عندمـا يبـدأ القـوس في التولـد عند نقطة انفصال التلامسين فـإنه يُجبـر على الاتجاه إلى أعلى بسبب القوى الكهرومغناطيسية المؤثرة عليه والناتجة من المجال المغناطيسي للتيـار.



(أ) القاطع مقفل.
(ب) القاطع مفتوح.

شكل ٤ ـ ٤ إطفاء القوس الكهربي في القواطع الهوائية

ويساعد على صعود القوس إلى أعلى الحرارةُ المتولدة من القوس نفسه وكذلك وجود مضماري القوس الذي يتحرك بينهما حتى يصل إلى مقسمات القوس، وهي عبارة عن ألواح معدنية تعمل على تقسيم القوس وتبريده. يتم في بعض القواطع وضع مواد عازلة تساعد على إطفاء القوس حيث يخرج منها كمية كبيرة من الغازات نتيجة لارتفاع درجة حرارتها. وتساعد هذه الغازات على إزالة التأين والإسراع في عملية إطفاء القوس الكهربى.

٤ ـ ٥ التلامسات Contacts:

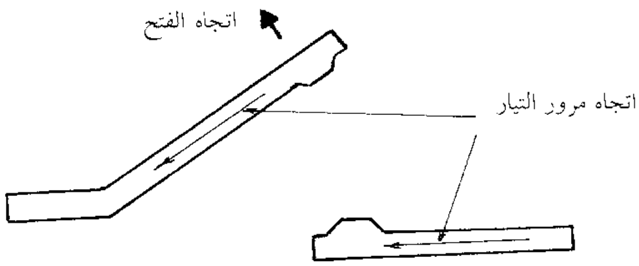
يوجد على كل خط من الخطوط المتصلة بالقاطع تلامسان، أحدهما ثابت والآخر متحرك. ويشار إلى هذين التلامسين بالقطب Pole. وعلى ذلك فيمكن أن يكون القاطع بقطب واحد أو قطبين أو ثلاثة أو أربعة أقطاب.

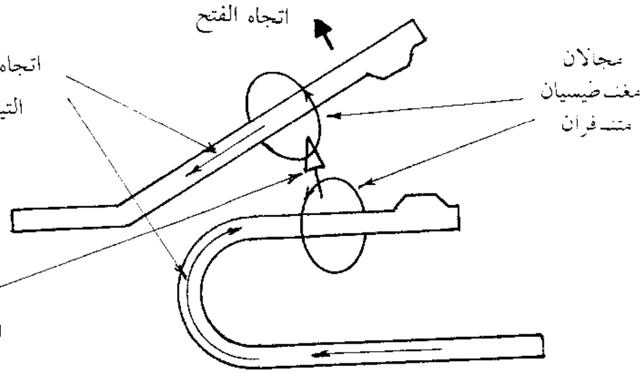
يتم تصميم التلامسات بحيث تستفيد من قوة التنافر المتولدة من تيار القصر بالإضافة إلى الطاقة المختزنة في زنبرك ميكانيكية التشغيل. يساعد ذلك على زيادة سرعة القطع كما في حالة قواطع الدائرة المحددة للتيار. يبين الشكل ٤ ـ ٥ هذه الفكرة التي تستخدم عادة في القواطع المحددة للتيار.

٤ ـ ٦ وحدة الإعتاق (التحكم) Tripping unit:

تعمل وحدة الإعتاق في قاطع الدائرة عمل العقل المفكر الذي يأخذ القرار ثم يعطي الأمر تبعاً لذلك. تقوم هذه الوحدة باستشعار حالة الشبكة باستمرار، وتبعاً لذلك تقرر الوحدة طريقة عمل القاطع. وتعطي وحدة التحكم أمراً إلى آلية التشغيل لفتح القاطع بعد زمن معين من حدوث أي حالة غير عادية يكون قد سبق تحديدها وضبط وحدة التحكم عليها.

يتنوع تصميم وحدة الإعتاق في القواطع تنوعاً كبيراً باختلاف التصميمات التي تنفذها مصانع القواطع المختلفة. ومع ذلك، فيمكن القول أن جميع تلك التصميمات تقع تحت نوعين رئيسيين من الإعتاق وهما:





شكل ٤ ـ ٥ الاستفادة من شكل التلامسات في زيادة سرعة الفتح

١ ـ إعتاق كهروميكانيكي Electromechanical .

٢ ـ إعتاق إلكتروني electronic، ويتبعه وحدات الإعتاق الرقمي Digital trip .

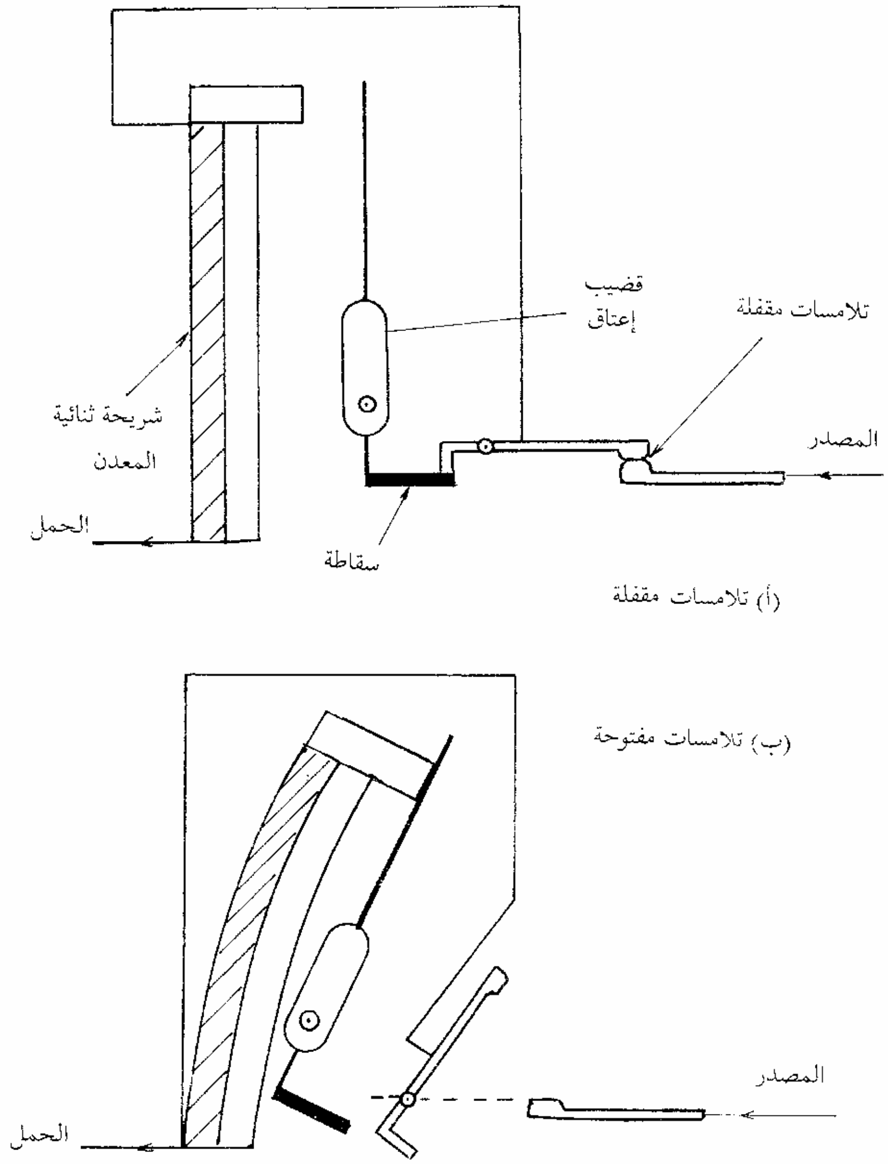
ويتم الحصول على المنحنى، أو مجموعة المنحنيات الخصائصية التي تربط بين تيار القاطع وزمن الفتح تبعاً لنوع وحدة الإعتاق وطريقة ضبطها والتحكم فيها على النحو التالي.

٤ ـ ٧ الإعتاق الكهروميكانيكي:

وهو نظام الإعتاق الموجود في القواطع التقليدية ويعتمد على الشرائح ثنائية المعدن Bimetals والمغناطيسات الكهربية Electromagnets للحصول على حماية تجاوز الحمل وحماية قصر الدائرة. ويسمى هذا النوع من الإعتاق إعتاقاً حرارياً مغناطيسياً.

٤ ـ ٧ ـ ١ وحدة الإعتاق الحراري:

يتم في هذا النظام إعتاق آلية فتح القاطع باستخدام شريحة ثنائية المعدن تسخن نتيجة لمرور التيار فيها. ومع استمرار تجاوز التيار تنثني الشريحة فتحرر آلية الإعتاق. يبين الشكل ٤ ـ ٦ هذه الفكرة.

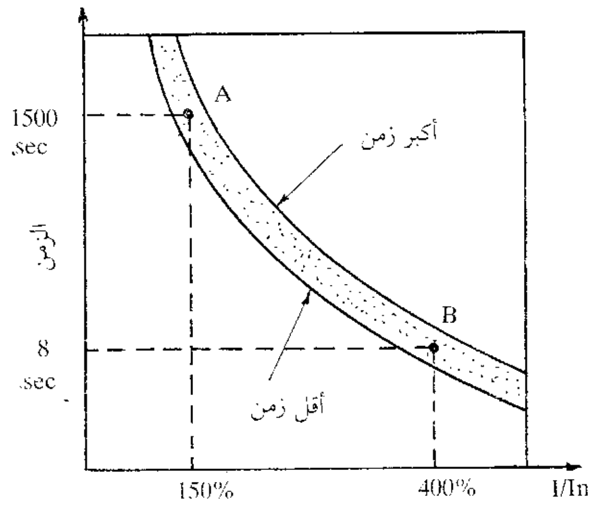


شكل ٤ ـ ٦ الإعتاق الحراري

وتتكون الشريحة ثنائية المعدن من معدنين مختلفين مربوطين معاً. ولكل معدن معامل تمدد حراري طولي مختلف عن الآخر. يعتمد إنثناء الشريحة على مقدار التيار المار بها وزمن مروره. وكلما زاد التيار كلما قل زمن فتح القاطع. ويتحمل القاطع عادة ١١٠٪ من تيار الحمل المقنن دون حدوث إعتاق حراري.

ينتج عما سبق أن نظام الإعتاق الحراري يكسب القاطع خاصية الفتح عند تجاوز الحمل، وهي خاصية تعاكسية بين الزمن والتيار. وتمثل هذه الخاصية على محوري الزمن والتيار بمنطقة Band وليس خطاً واحداً، حيث تمثل المنطقة حدود التفاوت المسموح به وهو في حدود ± ١٠٪ في العادة.

بالإشارة إلى منحنى الإعتاق الحراري المبين في الشكل ٤ ـ ٧، يتبين وجود منطقة يحصرها منحنى أقصى زمن Maximum time ومنحنى أقل زمن Minimum time. فعند حدوث تجاوز حمل مقداره ١٥٠٪ من التيار المقنن فإن ذلك يعني أن زمن الفتح هو ١٥٠٠ ثانية وهو الزمن المناظر لنقطة A التي تقع في وسط منطقة الإعتاق. وبالمثل فإن تجاوز حمل ٤٠٠٪ يسبب فتح الدائرة



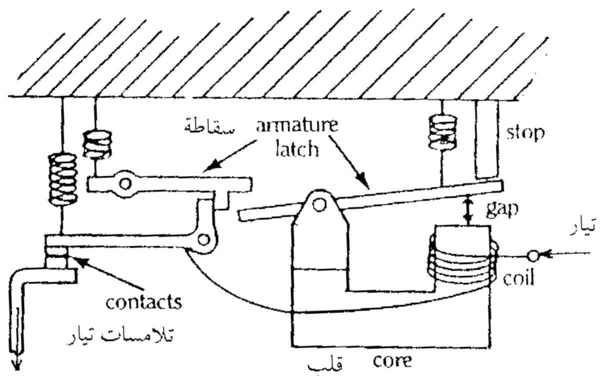
شكل ٤ ـ ٧ منحنى الزمن ـ التيار للإعتاق الحراري

عند زمن ٨ ثوان. سوف نتعامل مع منحنيات قواطع الدائرة على أنها منحنى واحد وسط منطقة الإعتاق وذلك لتوضيح الشرح. ويجب الأخذ في الاعتبار أن جميع المنحنيات الخصائصية لقواطع الدائرة هي في الأصل مناطق وليست منحنيات خطية. ويلزم مراعاة ذلك عند التطبيق والاستعمال والضبط.

توجد قواطع دائرة لا يمكن ضبط وحدة الإعتاق الحراري فيها. وتوجد قواطع أخرى يمكن تغيير منحنى الإعتاق الحراري. تزود القواطع القابلة للضبط الحراري بمفتاح يمكن عن طريقة التحكم في مقدار الانثناء في الشريحة ثنائية المعدن الذي يسبب تحريك قضيب الإعتاق المبين في الشكل ٤ ـ ٦. يتم ذلك عن طريق تغيير المسافة بين الشريحة والقضيب.

٤ ـ ٧ ـ ٢ وحدة الإعتاق الكهرومغناطيسي:

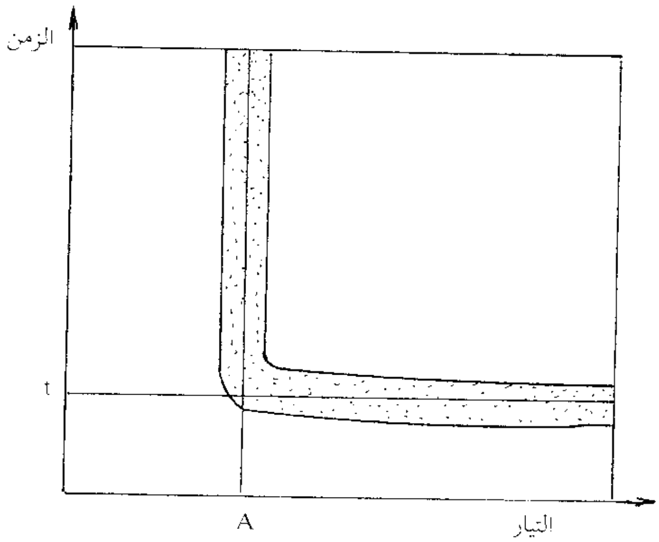
يعتمد الإعتاق المغناطيسي على عمل مغناطيس كهربي يعمل بواسطة تيار الحمل حيث يوصل الحمل على التوالي مع ملف المغناطيس. ويُستعمل الإعتاق الكهرومغناطيسي للحماية من تيارات القصر. يسبب التيار المار في ملف المغناطيس مجالاً مغناطيسياً ترتفع شدته بسرعة عند حدوث قصر في الدائرة، حيث تعتمد شدة المجال المغناطيسي على مقدار تيار القصر. يجذب المجال المغناطيسي الذراع المبين بالشكل ٤ ـ ٨ فيحرر بذلك آلية الإعتاق ويفتح القاطع الدائرة. لا يوجد في هذه الطريقة أي تأخير زمني سوى الفترة



شكل ٤ ـ ٨ إعتاق كهرومغناطيسي

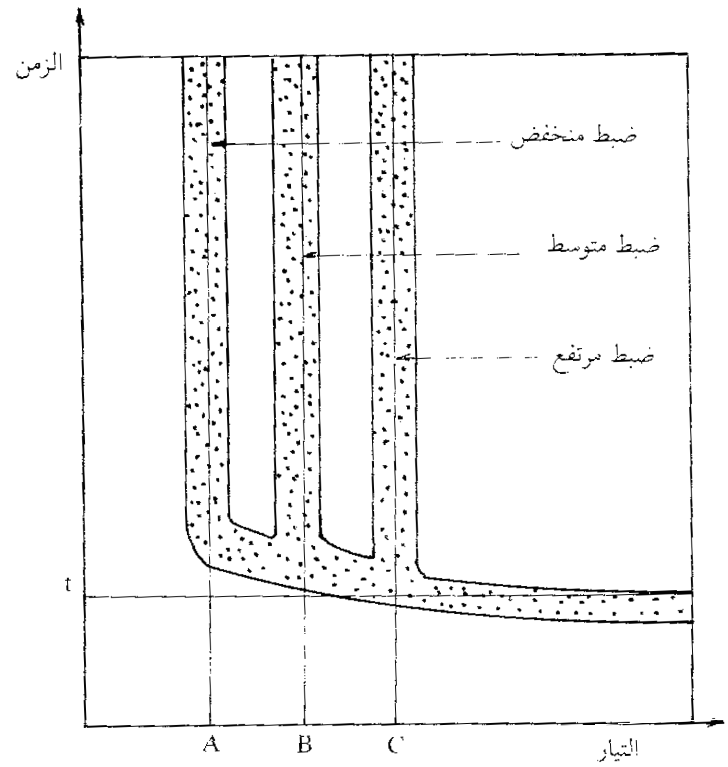
الـزمنية الـلازمة لتحـريك التـلامسات (القصـور الذاتي الميكـانيكي للأجـزاء المتحركة) وفترة إطفاء القوس الكهربي. وتستغـرق هذه العمليـة أقل من دورة واحدة منذ لحظة القصر وحتى إطفاء القوس بدون وجود أي تأخير زمني متعمد.

يبين الشكل ٤ ـ ٩ منحنى الزمن ـ التيار الذي ينتج من الطريقة السابقة، ويعرف هذا المنحنى بأنه إعتاق فـوري Instantaneous trip وذلك بـالمقارنـة بالإعتـاق الحراري الذي يطلق عليه إسم إعتاق طويل الزمن Long time trip (إعتاق بتأخير زمني طويل).



شكل ٤ ـ ٩ إعتاق مغناطيسي فوري ثابت عند تيار A وزمن t

كمـا في حـالـة الإعتـاق الحـراري فـإنـه يمكن ضبط الإعتـاق الكهرومغناطيسي في بعض القواطع بحيث يمكن تغيير تيار القصر الذي يعمل عنـده القاطـع. يبين الشكل٤ ـ ١٠ منحنى زمن ـ تيـار لإعتاق كهـرومغناطيسي يمكن ضبطه على ثلاثـة مواضـع مختلفة. يتم الضبط عن طـريق تغيير وضـع مفتاح في مقدمة القاطع. يعمل هذا المفتاح على تغييـر الشد في زنبـرك ذراع المغناطيس مما يؤدي إلى تغيير قيمة الضبط المغناطيسي.



شكل ٤ ـ ١٠ إعتاق مغناطيسي فوري قابل للضبط

بالرجوع إلى الشكل ٤ ـ ١٠ نجد أن القاطع لا يعمل عند الضبط المنخفض إلا إذا وصلت قيمة التيار إلى القيمة A. عندئذ يفتح القاطع عند الزمن "t". أما إذا كان القاطع على الضبط العالي فإنه لن يفتح إلا إذا وصلت قيمة التيار إلى القيمة C، ويفتح عندئذ عند نفس الزمن "t".

٤ ـ ٧ ـ ٣ المنحنيات الخصائصية:

يمكن عن طريق التحكم في ضبط وحدتي الإعتاق الحراري والمغناطيسي في قواطع الإعتاق الكهروميكانيكي الحصول على مجموعة كبيرة من المنحنيات الخصائصية المختلفة لتلك القواطع بين الزمن والتيار. ويمكن

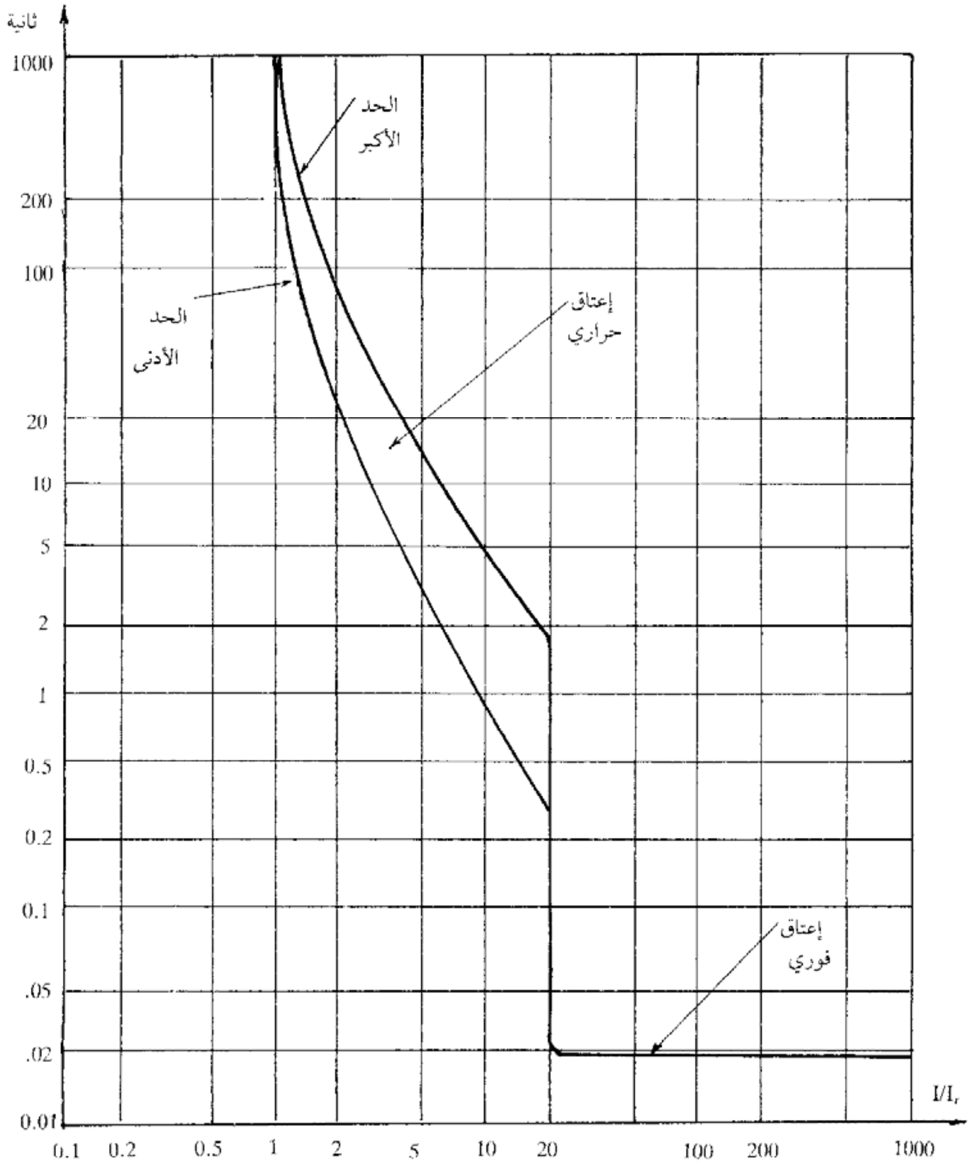
بـذلك تحقيق أقصى مـرونة ممكنـة في عملية التنسيق وتحقيق خـطة الحمايـة لشبكـة. وليـس من الضروري أن نجـد قاطعـاً واحداً يحقق جميـع أشكـال المنحنيات، وإنما يجب اختيار القاطع المناسب للحالة تحت الاعتبار.

يمكن بصفـة عامـة الحصول على ثـلاث منـاطق من الزمن تـدخل فيهـا المنحنيات الخصائصية للقواطع. ويُشار إلى تلك المناطق بالتعبيرات الآتية:

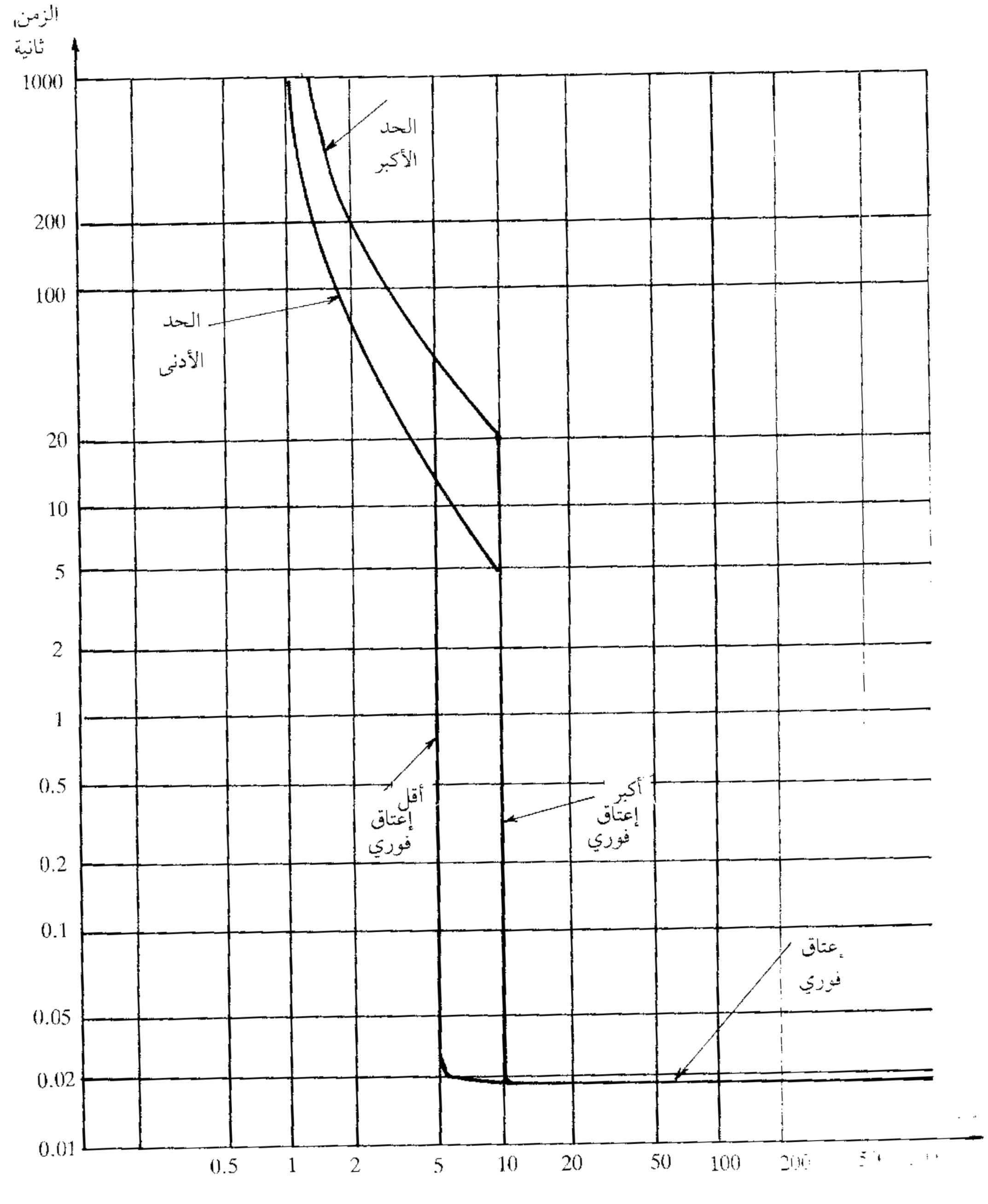
١ ـ **إعتاق ذو تأخير زمني طويل Long time delay**: وهو ما يتم الحصول عليه من وحدة الإعتاق الحراري. ويستجيب هذا الإعتاق لتجاوزات الحمـل، ويتميز بطول الفتـرة الزمنيـة التي يعمل عنـدها، حيث تسمـح تلك الفترة الزمنية الطويلة بتجاوزات الحمل المؤقتة بحيث لا تتسبب تلك التجاوزات المؤقتة والتي لا تستمر لفترات طويلة في تشغيل القاطع.

٢ ـ **إعتاق ذو تأخير زمني قصير Short time delay**: ويتم الحصول على هذا النـوع من الإعتاق عن طـريق إدخال وسيلة تـأخير زمني متعمـد في دائرة الإعتاق الكهرومغناطيسي. قد يكـون هذا التـأخير كهـربياً أو ميكـانيكياً. يستجيب هذا الإعتاق لتيارات القصر الخفيفة وكذلك حالات تجاوز الحمل الخطير الذي لا يمكن السماح باستمراره لحين عمل الإعتاق الحـراري. يمكن الحصـول على هذا النـوع من الإعتاق إمـا على شكل خط مستقيم رأسي يتم ضبـطه على تيار اللقط Pickup للتـأخير الزمني القصير كمـا في شكل ٤ ـ ١٣، وإما عن طريق استعمال الكمية I^2t المشار إليها في الباب الثـالث. نحصل في هـذه الحال على شكـل إعتاق مـائل كمـا هـو مبين بالشكل ٤ ـ ١٤.

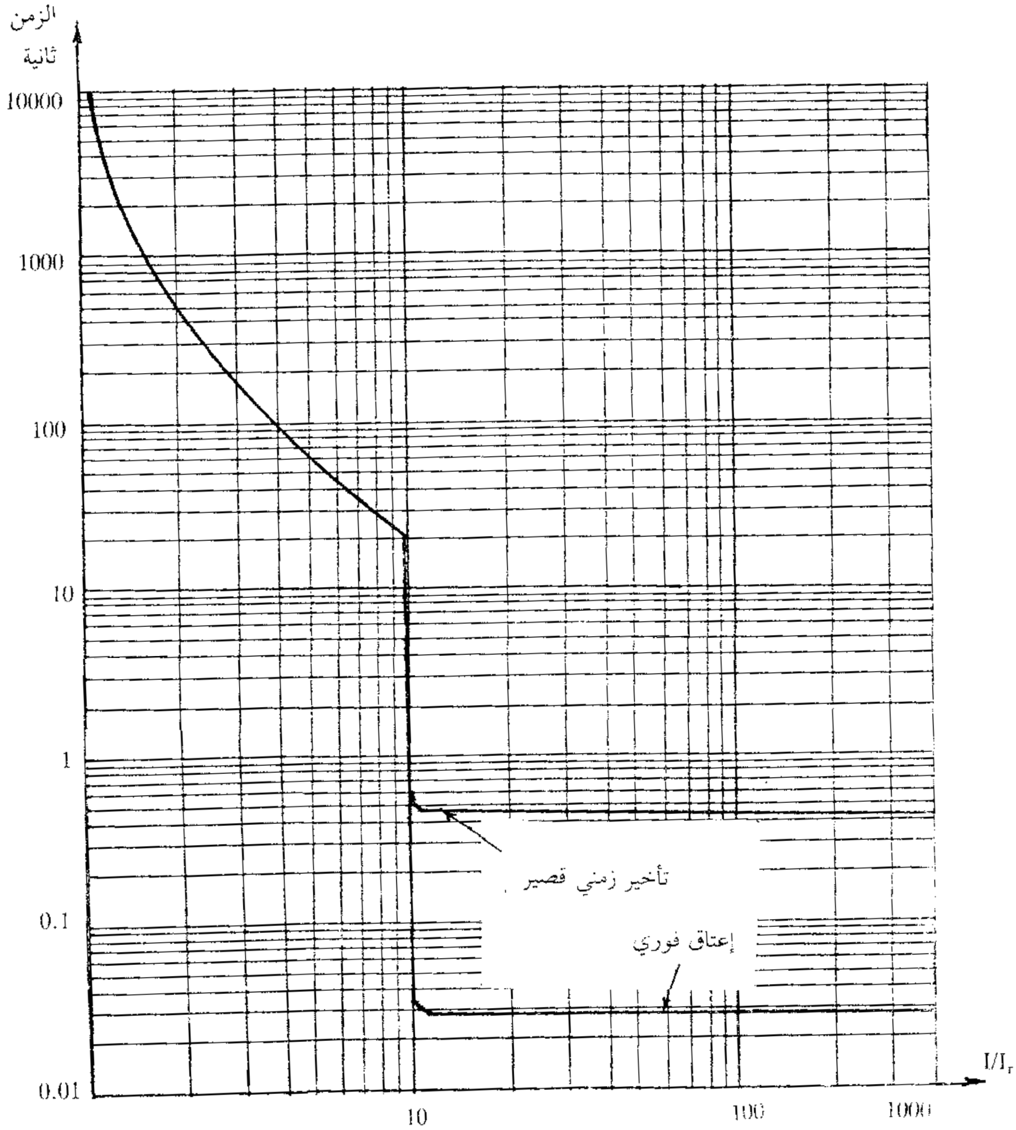
٣ ـ **إعتـاق فوري Instantaneous**: وهـو مـا يتم الحصـول عليـه من الإعتـاق الكهرومغناطيسي دون أي تـأخير زمني متعمـد. ويستخدم هـذا النوع من الإعتاق في الحماية من تيارات القصر العالية. ويتم ضبط الإعتاق الفوري على قيمة تيار اللقط المطلوب أن يفتح عليه القاطع دون أي تأخير زمني.



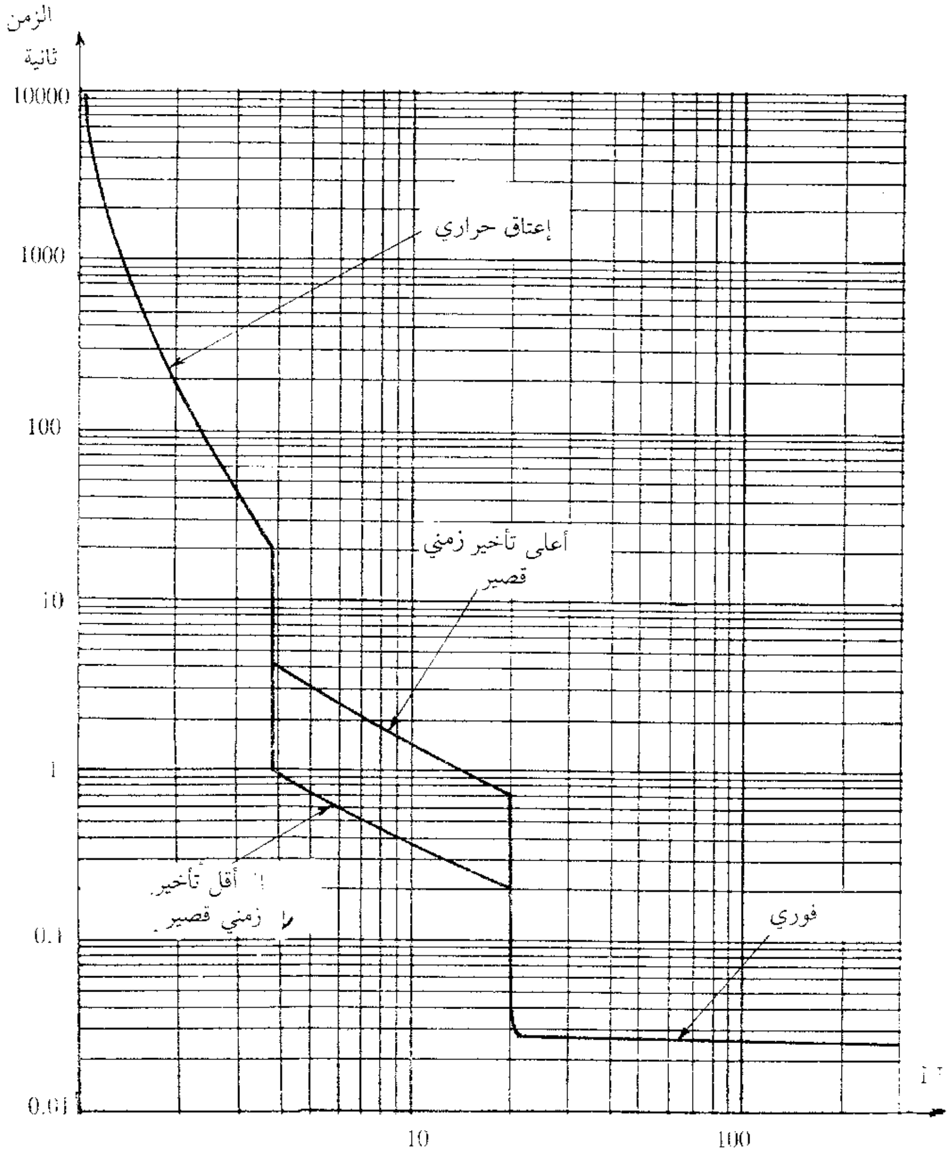
شكل ٤ ـ ١١ إعتاق حراري قابل للضبط + إعتاق فوري ثابت
(I_r مقنن تيار القاطع)



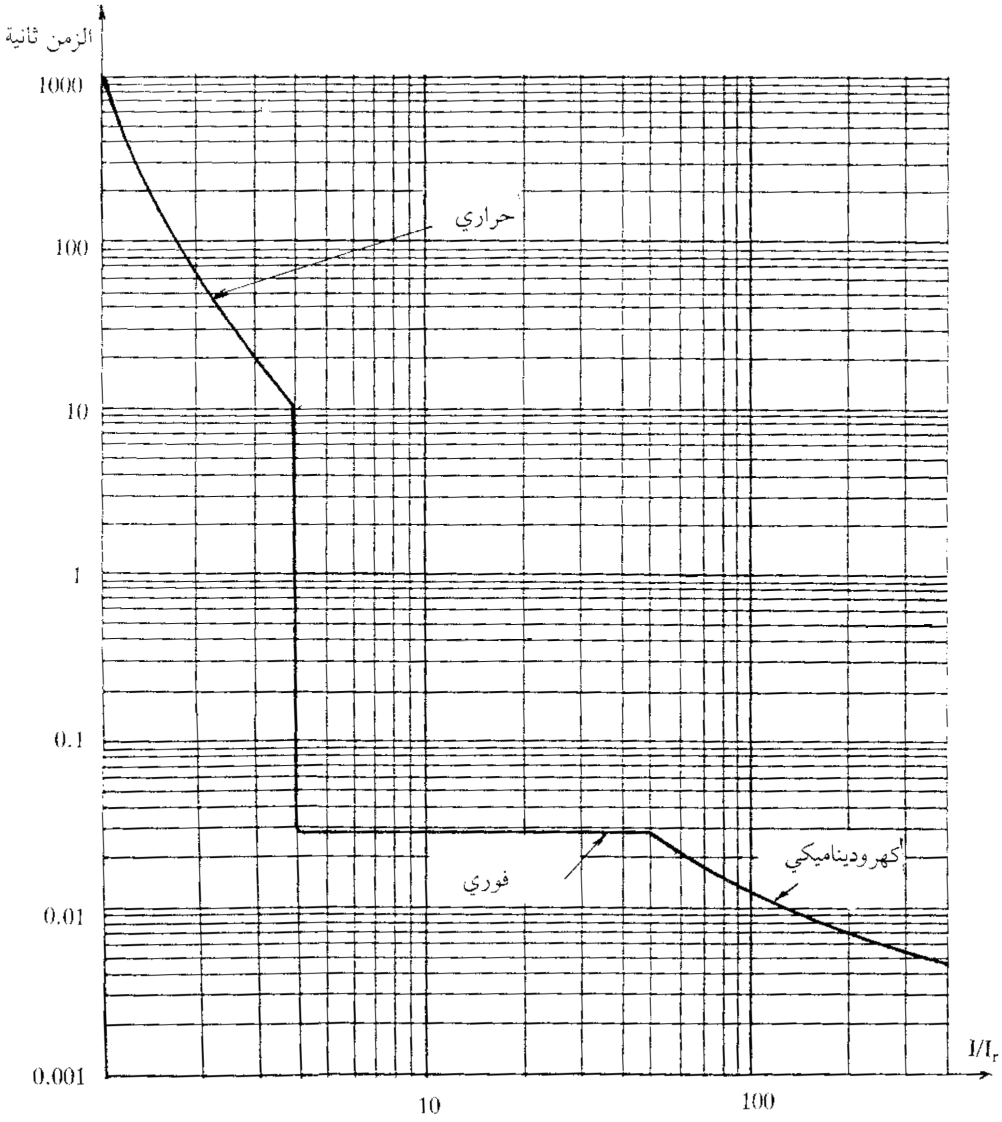
شكل ٤ ـ ١٢ إعتاق حراري قابل للضبط + إعتاق فوري قابل للضبط (5- $10\ I/I_r$)



شكل ٤ ـ ١٣ إعتاق حراري ثابت + تأخير زمني قصير + فوري



شكل ٤ ـ ١٤ إعتاق حراري + فوري + تأخير زمني قصير قابل للضبط (I^2t)



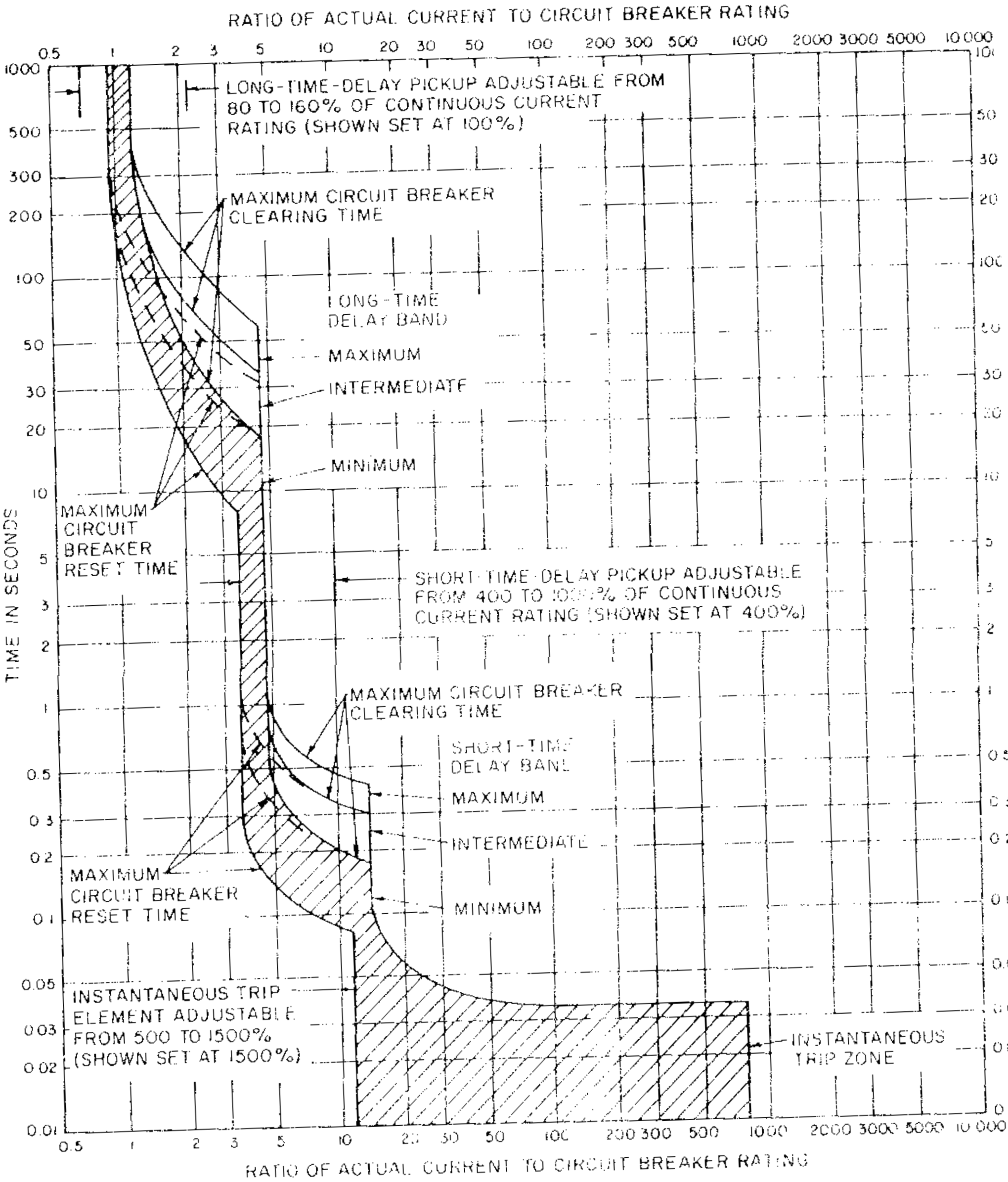
شكل ٤ ـ ١٥ إعتاق حراري + فوري + كهروديناميكي (قواطع محددة للتيار)

٤ ـ **إعتاق كهروديناميكي**: وهذا النوع من الإعتاق خاص بالقواطع المحددة للتيار. وتستعمل القواطع المحددة للتيار كحماية مباشرة للأحمال عند نهايات الدوائر الفرعية، وكذلك ـ كما في حالة المصهرات المحددة للتيار ـ عندما يكون تيار القصر أكبر من تيار القصر الذي تتحمله أجهزة الشبكة بحيث يجب فتح الدائرة قبل الوصول إلى القيمة الذروية للدورة الأولى من تيار القصر. يمكن القول بصفة عامة أن استعمال القواطع المحددة للتيار تدعو إليه الحاجة إذا زادت قيمة تيار القصر عن ٥٠ كيلو أمبير. وللقيم الأقل من ذلك يفضل استخدام قواطع عادية.

تعطى الأشكال من ٤ ـ ١١ إلى ٤ ـ ١٥ منحنيات خصائصية تبعاً للمناطق الزمنية السابق ذكرها، كما يبين الشكل ٤ ـ ١٦ جميع أنواع الضبط على القاطع الكهروميكانيكي (IEE std 141-1976).

٤ ـ ٨ الإعتاق الإلكتروني:

لقد أدى التطور الكبير في صناعة أشباه الموصلات Semi conductors وما ارتبط بها من تقدم في مجال إلكترونيات القوى والدوائر المطبوعة Printed circuits خلال العقود الثلاثة الأخيرة إلى استحداث وسائل جديدة من الإعتاق تعرف حتى الآن باسم الإعتاق الإلكتروني. وتعرف قواطع الدائرة التي تستعمل وحدة إعتاق إلكتروني بإسم قاطع دائرة إلكتروني .Electronic C.B. ولقد أدى هذا بدوره إلى حل كثير من المشاكل المرتبطة بعملية حماية الأجهزة وعملية تنسيق الحماية والانتقائية المطلوبة منها.

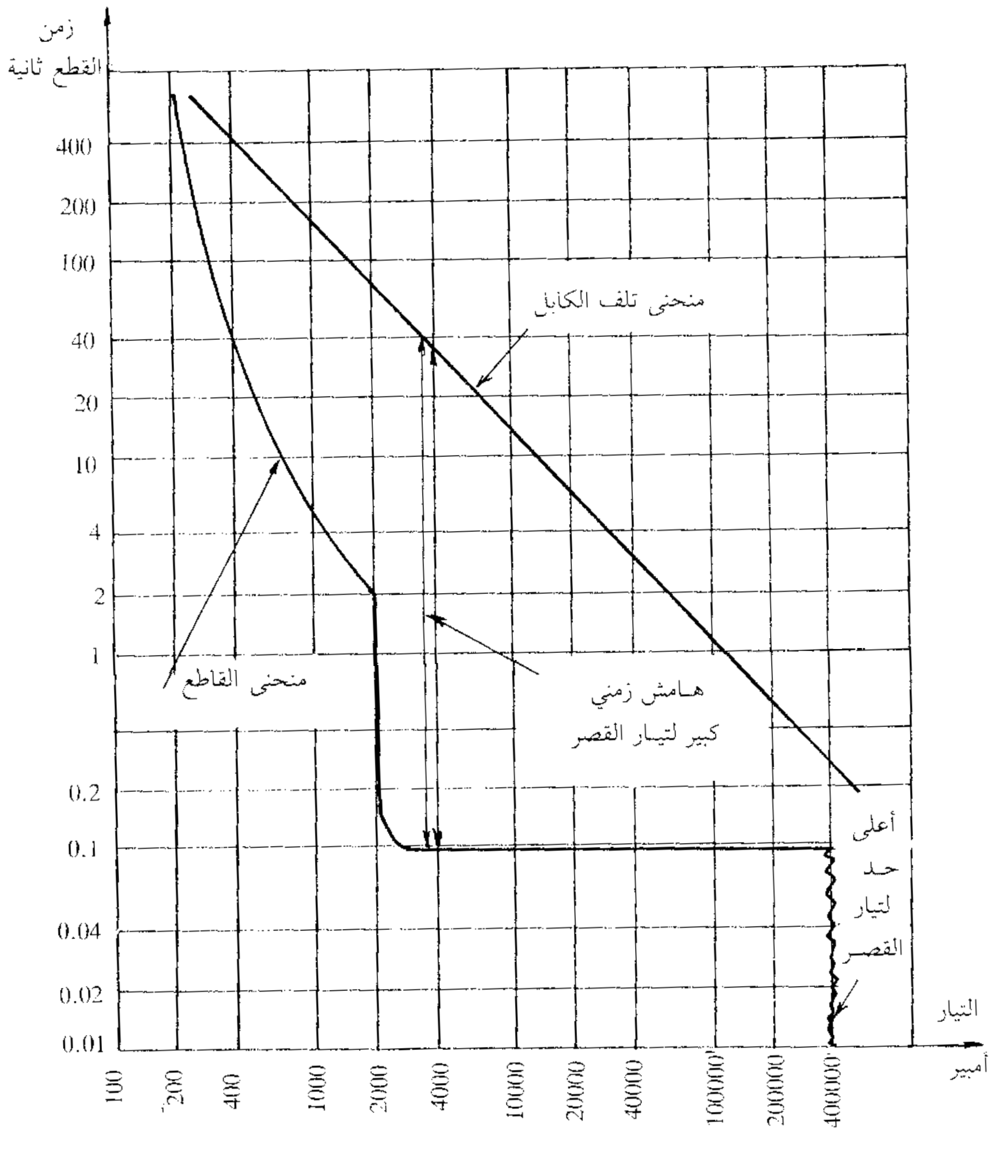


شكل ٤ ـ ١٦ إمكانيات ضبط وحدات إعتاق قواطع الجهد المنخفض
(IEEE Std 141 - 1976)

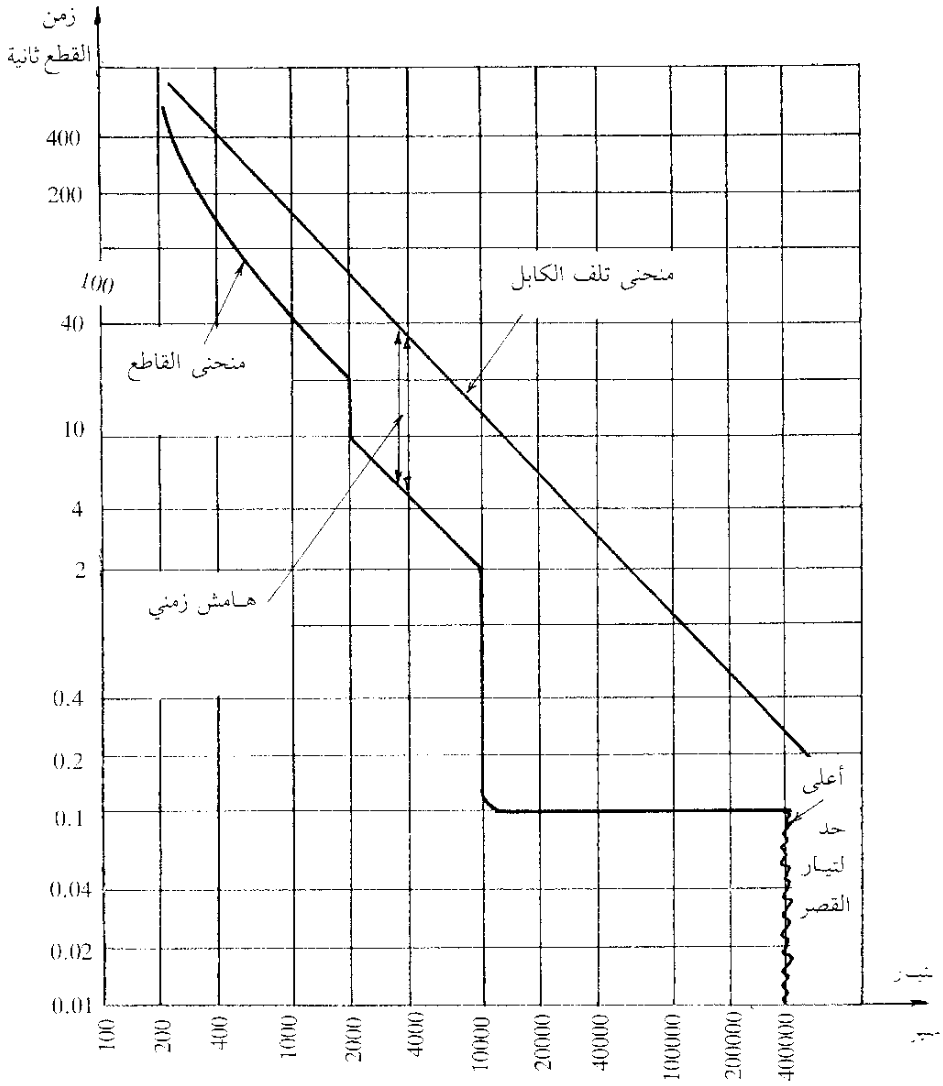
٤ ـ ٨ ـ ١ الحاجة إلى القواطع الإلكترونية:

من الأمور المتبعة في حماية أي جهاز كهربي أن يكون المنحنى الخاص بجهاز الحماية (قاطع دائرة أو مصهر مثلاً) أقرب ما يمكن من منحنى تلف الجهاز المراد حمايته Damage curve، وذلك حتى تكون الحماية أسرع ما يمكن. كما يجب أن يكون منحنى جهاز الحماية أسفل منحنى الجهاز المراد حمايته خلال مدى الحماية العملي. إن هذه القاعدة تمثل إحدى المشاكل في الحماية، حيث تختلف المنحنيات عن بعضها اختلافاً واضحاً وكبيراً سواء بالنسبة للقواطع أو للأجهزة المراد حمايتها. نوضح ذلك بالشكل ٤ ـ ١٧. نجد في الشكل ٤ ـ ١٧ ـ أ أن شكل منحنى القاطع يترك هامشاً Margin زمنياً كبيراً بين زمن الفتح وزمن احتمال الكابل لتيارات القصر الصغيرة. وبعبارة أخرى فقد تمت التضحية بجودة الحماية في تيارات القصر الصغيرة لكي نحصل على أداء أفضل عند حدوث قصر دائرة على تيارات مرتفعة. وعلى خلاف ذلك فإن منحنى قاطع دائرة ذا شكل كالمبين في شكل ٤ ـ ١٧ ـ ب يحقق حماية جيدة للكابل في جميع الحالات (تجاوز الحمل ـ تيارات قصر صغيرة ـ تيارات قصر عالية). من هنا تظهر الحاجة إلى قواطع ذات منحنيات يمكن تشكيلها بمرونة أكبر.

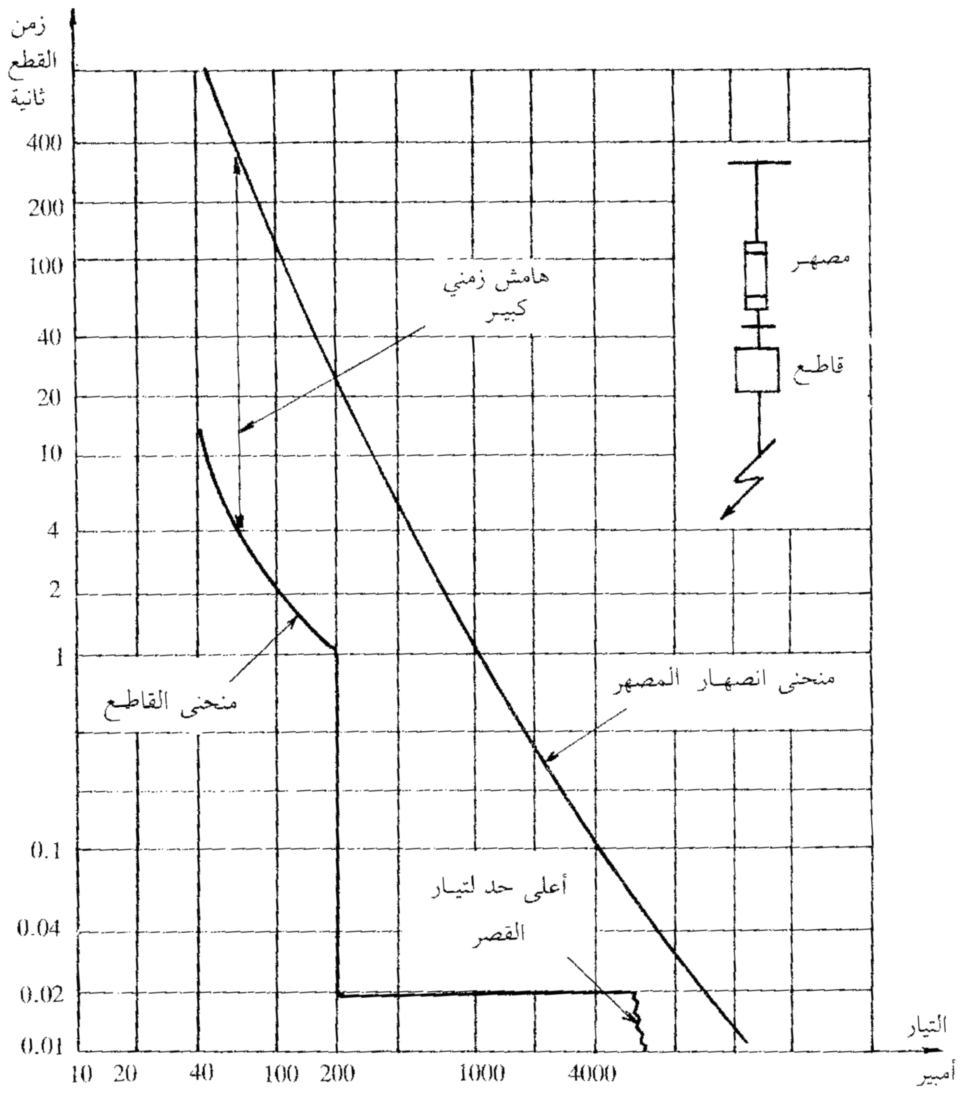
هناك أمر آخر أكثر أهمية من الأمر السابق وأشد صعوبة؛ وهو عملية التنسيق بين أجهزة حماية وقطع لها منحنيات خصائصية مختلفة تماماً في الشكل العام. فنحن نحتاج في حماية شبكات الجهد المنخفض إلى أجهزة حماية منحنياتها الخصائصية لا تتعاون مع بعضها عادة لصالح تحقيق الحماية المطلوبة وخاصة عند استعمال قاطع دائرة ذي منحنى له هبوط مفاجىء من منطقة زمنية إلى منطقة زمنية أخرى. فاستعمال مصهر كحماية ثانوية لقاطع قد لا يكون مفيداً في منطقة تجاوز الحمل وذلك بسبب الخاصية التعاكسية الشديدة للمصهرات (الشكل ٤ ـ ١٨). وقد يتعذر في كثير من الأحيان استعمال مصهر بعد قاطع دون التضحية بهامش زمني كبير في نطاق معين وذلك لتجنب تقاطع المنحنيات (الشكل ٤ ـ ١٩). يمكن التغلب على تلك المشكلة أيضاً عن طريق زيادة إمكانية التحكم في تشكيل منحنيات القواطع.



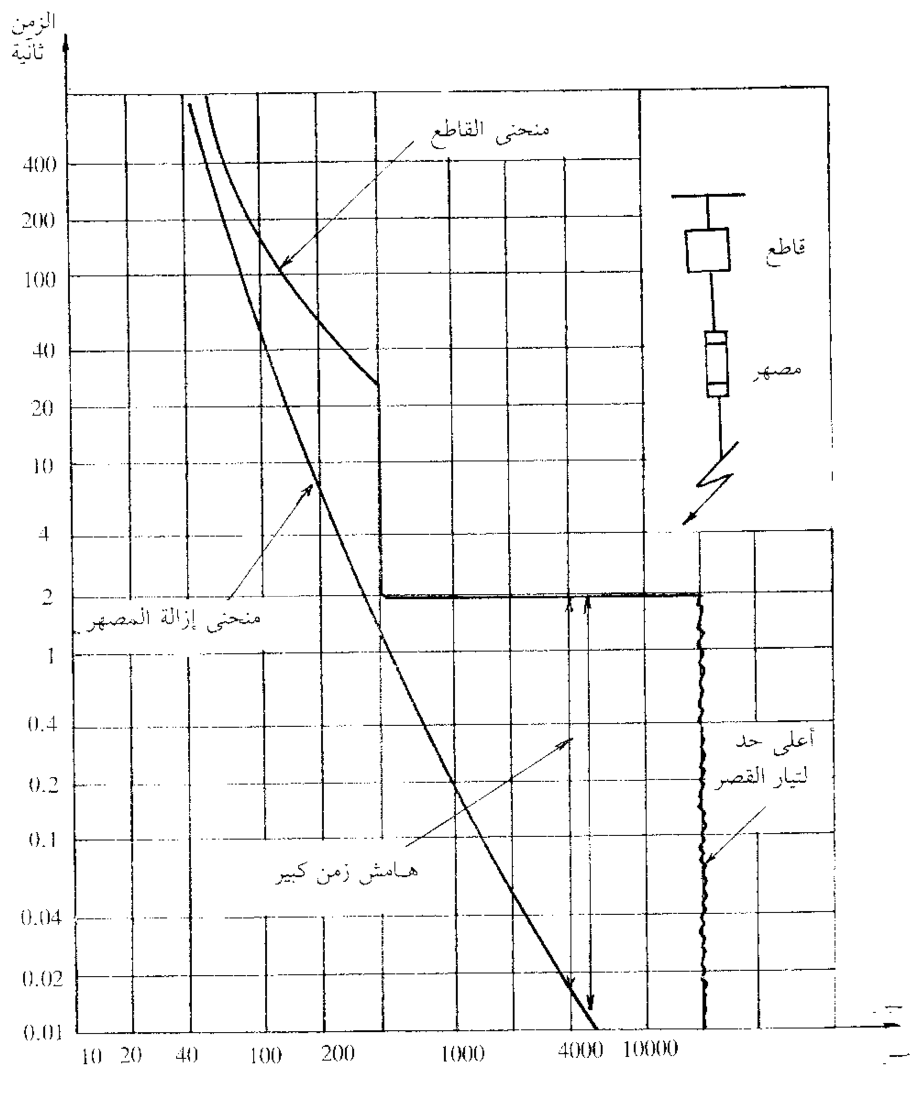
شكل ٤ ـ ٧ ـ أ هامش زمني كبير بسبب شكل منحنى الحماية (حماية كابل)



شكل ٤ ـ ١٧ ـ ب خفض الهامش الزمني عن طريق تشكيل منحنى الحماية (حماية كابل)



شكل ٤ ـ ١٨ حماية تجاوز حمل ثانوية رديئة بين قاطع ومصهر



شكل ٤ ـ ١٩ حماية قصر دائرة رديئة بين مصهر وقاطع

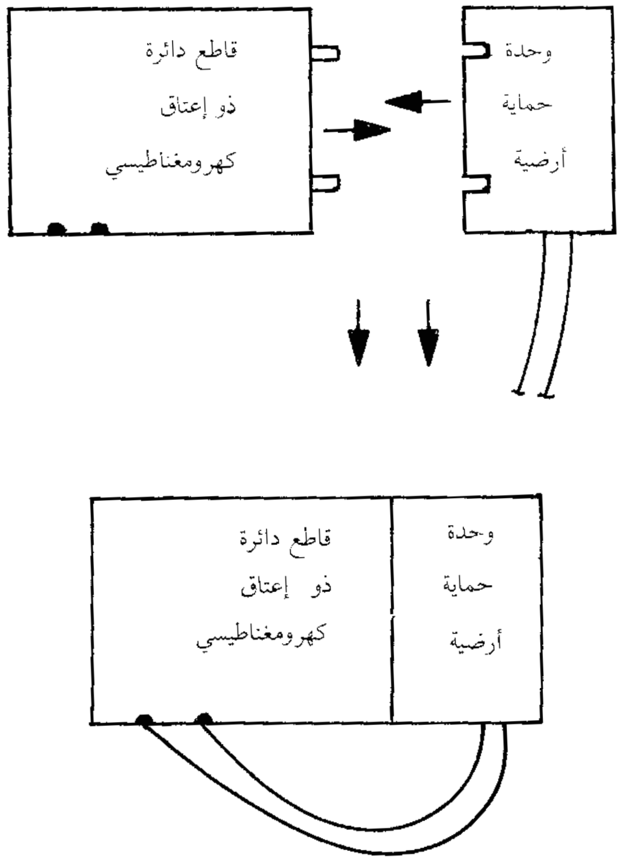
توجد ميزة أخرى كبيرة لقواطع الإعتاق الإلكتروني، وهي إمكانية تغيير التيار المقنن للقاطع دون الحاجة إلى إجراء أي تغيير في مكوناته. هذه الإمكانية غير موجودة في القواطع الكهروميكانيكية الذي يختص فيها القاطع بتيار مقنن واحد وثابت ومنحنى واحد يتبع هذا المقنن. وعند الحاجة إلى تغيير مقنن تيار القاطع (إذا تغير تيار الحمل مثلاً) فإن ذلك يعني تغيير وحدة الإعتاق على الأقل، وهو عمل غير بسيط وغير مقنع. أما في القواطع الإلكترونية فهذه المشكلة غير موجودة حيث يوجد في تلك القواطع ما يعرف باسم مقنن القابس Plug Rating (PR). يمكن عن طريق تغيير وضع القابس تغيير التيار المقنن للقاطع. وتجدر الإشارة هنا إلى أنه يمكن بهذه الطريقة عمل تغيير متصل يمتد على مدى يصل إلى ضعف التيار أو أعلى من ذلك (القابس يغير مقنن التيار من ٣٠٠ إلى ٦٠٠ أمبير مثلاً تبعاً لتيار الحمل).

بالإضافة إلى كل ما سبق، فإن القواطع الإلكترونية لها القدرة على عمل حماية من الخطأ الأرضي Ground fault protection. تحتوي تلك القواطع عادة على وحدة للإعتاق الأرضي موجودة بصورة متكاملة في وحدة الإعتاق الإلكتروني. إن هذا يزود منحنى القاطع بمنحنى إضافي منفصل قابل للضبط خاص بالحماية من الخطأ الأرضي. إن هذه الإمكانية غير متاحة في القواطع الكهروميكانيكية حيث يتم عمل الحماية الأرضية إما بصورة منفصلة تماماً عن قاطع التيار وإما بإضافة وحدة حماية أرضية إلى حماية تجاوز التيار كما هو مبين بالشكل ٤ ـ ٢٠.

يمكن إضافة الميزات الآتية إلى القواطع الإلكترونية علاوة على ما سبق ذكره:

١ ـ عدم وجود أجزاء متحركة في وحدة الإعتاق يحقق سرعة أكبر في زمن الإعتاق.

٢ ـ دقة عالية في المنحنيات الخصائصية، حيث لا يزيد المدى الذي تتغير فيه نقطة الإعتاق (المدى بين أدنى منحنى وأعلى منحنى لنفس الضبط) عن ± ١٠٪. قد تصل تلك النسبة في القواطع الكهروميكانيكية إلى ± ٢٠٪.



شكل ٤ ـ ٢٠ إمكانية إضافة وحدة حماية أرضية إلى قاطع كهرومغناطيسي

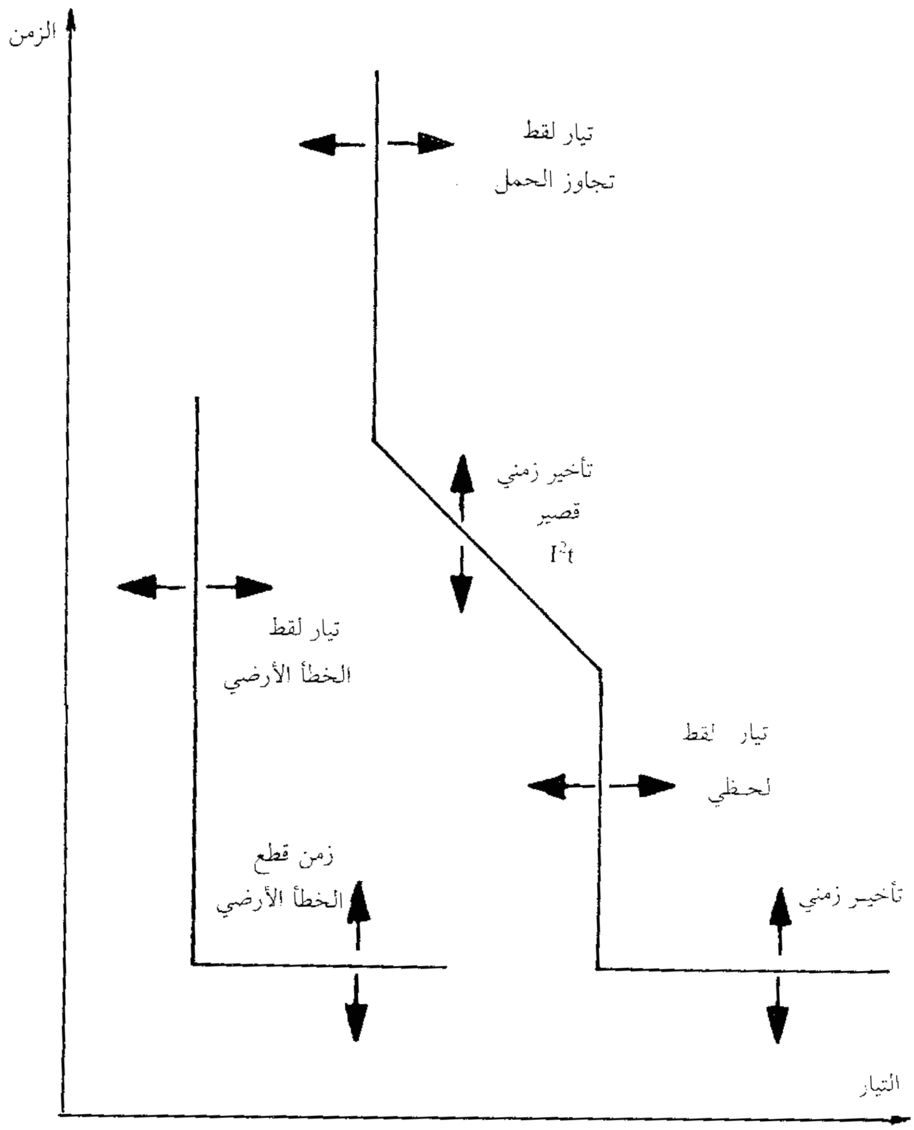
٣ ـ درجة وثوق Reliability عالية. إن هذا يعني أن أعطال تلك الوحدات قليلة جداً بحيث يمكن الوثوق في أدائها والاعتماد عليها.

٤ ـ سهولة أكبر في الاختبارات. تزود تلك القواطع بمواضع مقابس سهلة التناول من أجل إجراء الاختبارات عليها.

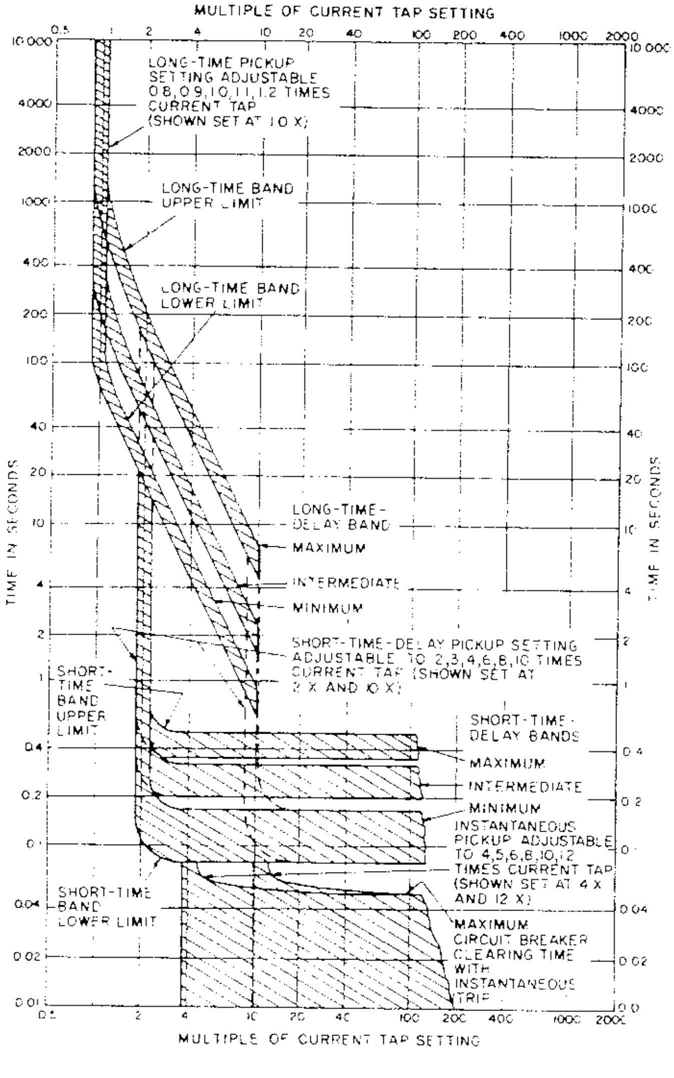
٥ ـ لا تحتاج إلى صيانة تذكر.

٦ ـ لا تحتاج إلى مصدر طاقة خارجي مساعد.

يبين الشكل ٤ ـ ٢١ رسماً تخطيطياً يبين مدى إمكانية التحكم في منحنى القاطع. ويبين الشكلان ٤ ـ ٢٢ و ٤ ـ ٢٣ منحنيات نمطية لقواطع إلكترونية (IEEE std 242-1975).

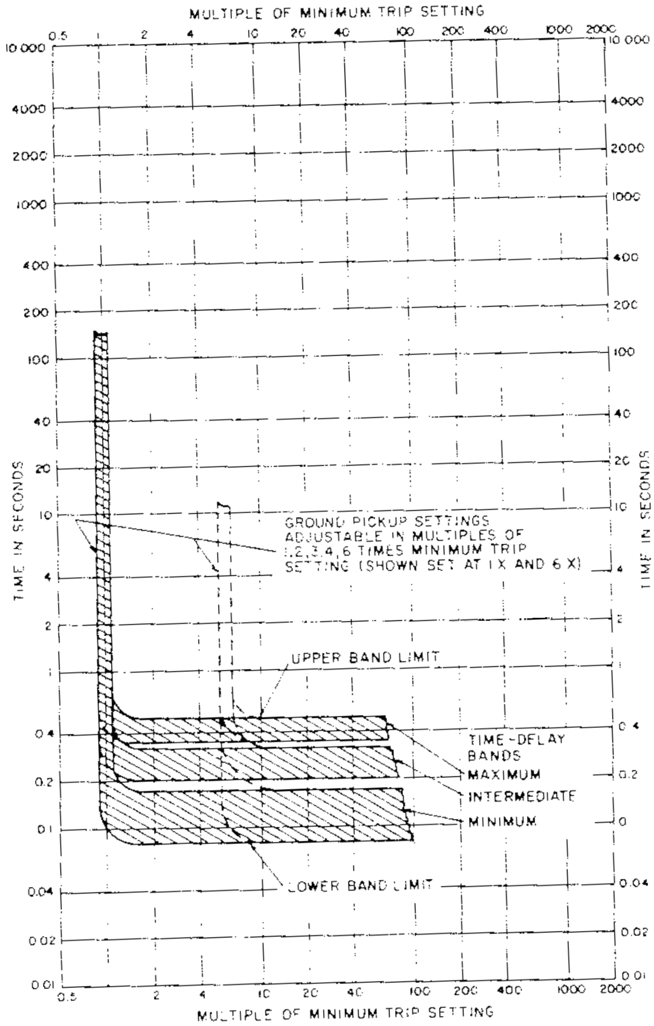


شكل ٤ ـ ٢١ إمكانيات الضبط في قواطع الإعتاق الإلكتروني



شكل ٤ ـ ٢٢ منحنى نمطي للزمن ـ التيار لقاطع تجاوز تيار جهد منخفض بوحدة إعتاق إلكتروني

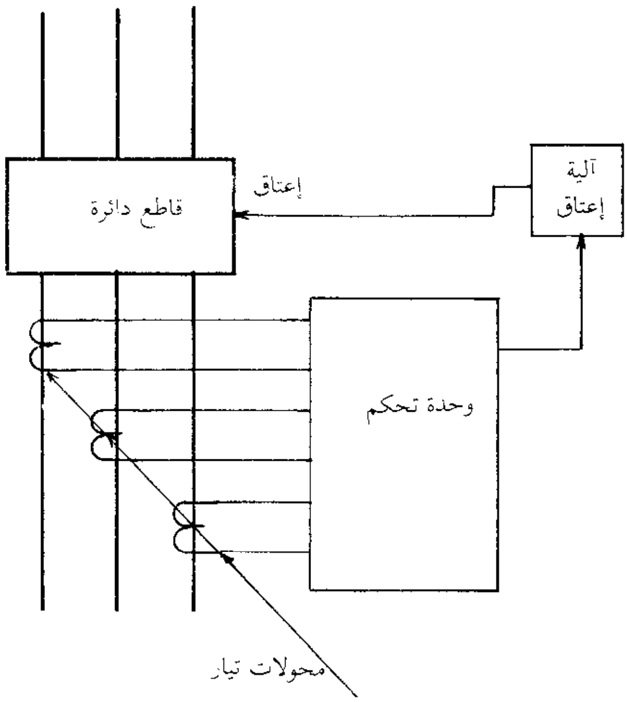
(IEEE Std 242 - 1975)



شكل ٤ ـ ٢٣ منحنى نمطي الزمن ـ التيـار لقاطـع خطأ أرضي جهـد منخفض بوحـدة إعتاق إلكتروني
(IEEE Std 242 - 1975)

٤ ـ ٨ ـ ٢ التركيب:

يتكون نظام الإعتاق الإلكتروني ـ بصرف النظر عن طريقة التصميم ـ من ثلاث مكونات رئيسية موجودة في جميع نظم الإعتاق (شكل ٤ ـ ٢٤).



شكل ٤ ـ ٢٤ الوحدات الرئيسية لقاطع إلكتروني

١ ـ **محول تيار**: ويوضع على كل خط من خطوط أطوار الشبكة الثلاثة. يقوم هذا المحول باستشعار التيار من الشبكة وخفضه إلى القيمة التي يمكن أن تعمل عليها وحدة التحكم، ويغذي محول التيار وحدة التحكم بالتيـار من ملفه الثانوي.

٢ ـ **وحـدة التحكم**: وهي العقل المـدبر لنـظام الإعتـاق. وتتكـون من دائـرة إلكترونية مـطبوعـة. تقوم هـذه الدائـرة باستـلام التيـار من محـول التيار ومقارنته بالكميات التي سبق ضبط وحدة التحكم عليها (تيار اللقط ـ التيار المقنن ـ زمن الإعتاق. . .). وتبعاً لنتيجة المقارنـة تصدر وحـدة التحكم

أوامرها إلى آلية الإعتاق بالعمل أو بعدم العمل. وهذه الأوامر هي بطبيعة الحال إشارات كهربية على شكل تيار أو جهد.

٣ ـ **آلية الإعتاق**: وهي التي تستلم إشارة العمل من وحدة التحكم وتقوم بعمل ميكانيكية فتح القاطع. وتتكون آلية الإعتاق عادة من زنبرك مضغوط ومحفوظ في وضع الانضغاط عن طريق مغناطيس دائم، ويكون قاطع الدائرة في هذا الوضع مقفلاً. وعندما تصل إشارة فتح القاطع فإن تلك الإشارة تولد تأثيراً معاكساً لتأثير المغناطيس مما ينتج عنه تحرير الزنبرك وفتح القاطع.

٤ ـ ٨ ـ ٣ الإعتاق الرقمي:

الإعتاق الرقمي Digital trip هو نوع من أنواع الإعتاق الإلكتروني يعتمد في طريقة عمله على الدوائر الرقمية وتصميم رقمي لمسير دقيق Microprocessor يقوم بوظائف عديدة في وحدة التحكم. إن الفرق الأساسي بين الدوائر العادية (التشابهية) Analog circuits والدوائر الرقمية Digital circuits هو أن الأولى تعتمد في عملها مع التيار أو الجهد مثلاً على الموجة المتصلة كلها، بينما تتعامل الدوائر الثانية مع الموجة على أساس أنها قيم منفصلة عن بعضها Discrete تقاس على فترات زمنية متقطعة، مما يعطي تمثيلاً أقرب إلى الواقع من الدوائر التشابهية.

تبدأ عملية الإعتاق الرقمي عادة بإدخال كميات تشابهية Analog input، أي أن موجة التيار مثلاً تدخل كلها إلى وحدة أو نظام الإعتاق. يتم بعد ذلك إدماج تلك الكميات وتحويلها إلى بيانات رقمية داخل محول تشابهي/رقمي Analog to digital converter. يتم بعد ذلك إدخال هذه البيانات الرقمية إلى وحدة التشغيل المركزية Central processing unit (شبيهة بالوحدة الموجودة في جميع الحواسب والمعروفة بالرمز CPU). هذه الوحدة هي وحدة التحكم الرئيسية التي تستلم البيانات وتعطي قرارات الإعتاق وغيرها. ويتم باستمرار تجديد البيانات التي تغذّى وحدة CPU بها.

يمكن عن طريق استخدام الوحدات الرقمية إضافة إمكانيات كبيرة لوحدة التحكم نذكر منها ما يأتي :

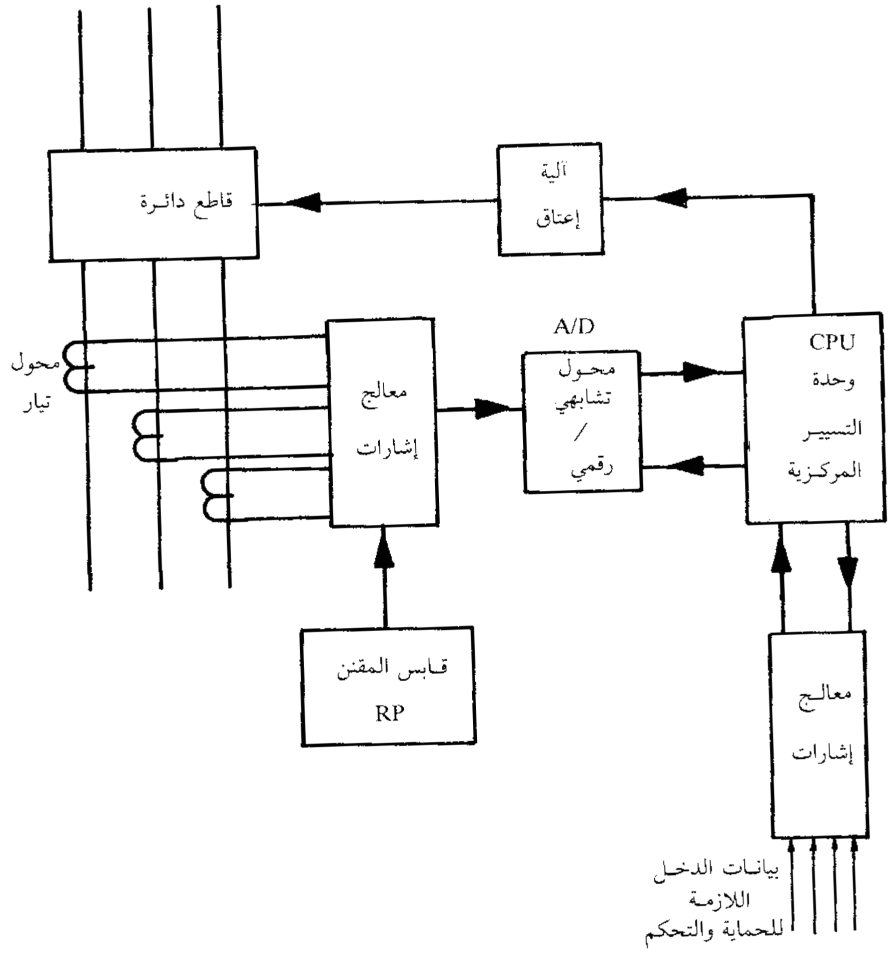
١ ـ زيادة قدرة الضبط.
٢ ـ زيادة الدقة والحساسية.
٣ ـ مرونة أوسع في التشغيل.
٤ ـ إمكانية استخدام الوحدة في القياس.
٥ ـ إمكانية برمجتها لعمل بعض المهام الخاصة بالتحكم وإدارة الأحمال مثل عملية حجب الأحمال Load shedding وإعادة التوصيل Reconnection والتواشج Interlocks والإنذار وخلافه.
٦ ـ إعطاء فكرة عن حالة الجهاز التي تقوم بحمايته، كدرجة حرارته مثلاً أو طريقة ومقدار تحميله. وتظهر هذه المعلومات على شاشة رقمية.
٧ ـ إمكانية نقل المعلومات والبيانات Data transmission عن حالة الشبكة سواء في الظروف العادية أو أثناء الأعطال أو قصر الدائرة.
٨ ـ يتم تزويد تلك الوحدات عادة بلوحة أزرار وشاشة عرض لتسهيل عمليات الضبط والبرمجة وعرض البيانات.

يبين الشكل ٤ ـ ٢٥ بياناً تخطيطياً لمكونات وحدة التحكم الرقمي.

٤ ـ ٩ الانتقاء والتنسيق في القواطع:

عند إجراء الحماية على جهاز أو موصل بواسطة قاطع دائرة فإن أداء ـخضع بالنسبة للجهاز الذي يحميه يكون أول الاعتبارات. يمكن توضيح ذلك فيـ يلي :

ولاً : يجب أن يفتح القاطع الدائرة في حالة تجاوز التيار (تجاوز حمل أو قصر دائرة) في فترة زمنية أقل من تلك التي تسبب تلف الجهاز. إن هذا يعني أن منحنى قطع التيار للقاطع يجب أن يكون دائماً أسفل منحنى تلف الجهاز الذي يقوم بحمايته، وهذا ما وضحه الشكلان ٤ ـ ١٧ ـ أ و ٤ ـ ١٧ ـ ب.



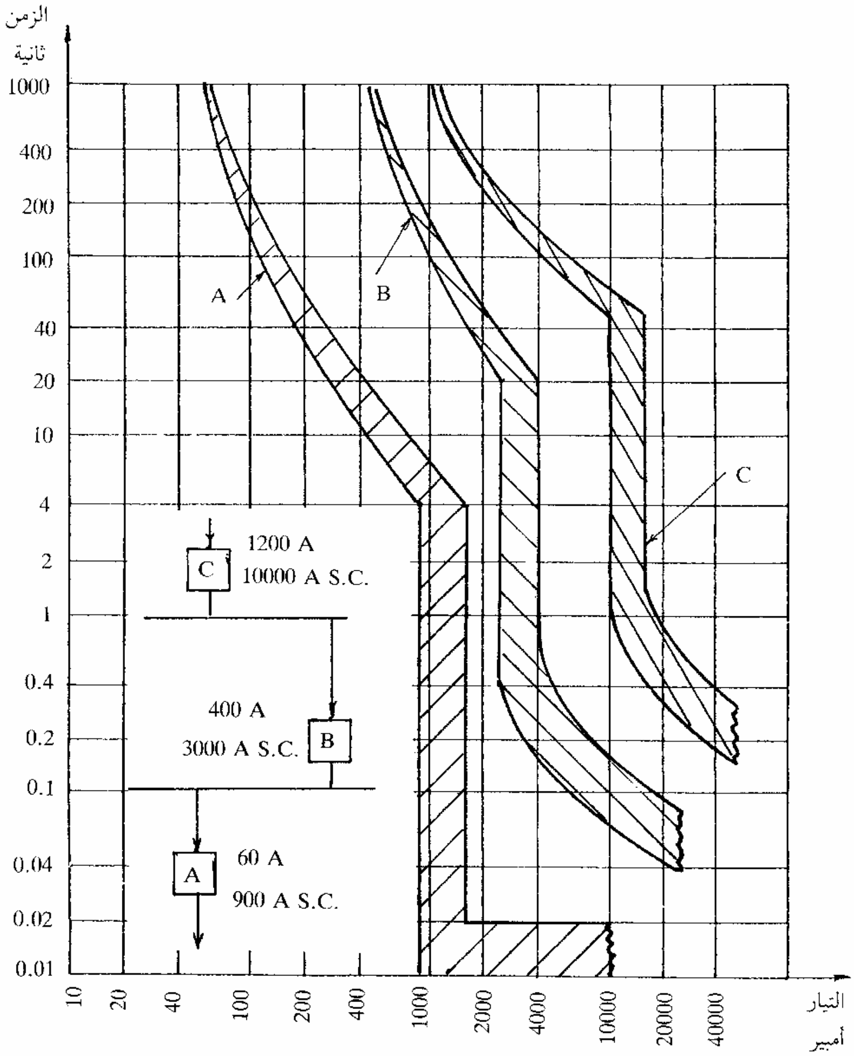
شكل ٤ ـ ٢٥ الهيكل العام للحماية الرقمية

ثانياً : يجب أن تكون لدى القاطع خاصية التمييز Discrimination. إن هذا يعني أن القاطع يجب ألا يفتح دون داعٍ، كما في حالات بدء الحركة للمحرك وتوصيل المحول على الشبكة حيث تحدث ارتفاعات عابرة في التيار لا تلبث أن تتلاشى. ولتحقيق ذلك يجب أن يكون منحنى القاطع أعلى من النقطة التي تمثل ارتفاع التيار في المحرك أو المحول.

وعلى العكس مما سبق فإنه عند وضع خطة الحماية للحصول على الانتقاء المطلوب من التنسيق بين القواطع فإنه يجب مراعاة منحنيات الزمن ـ التيار للقواطع بالنسبة لبعضها. فيجب التأكد من عدم تقاطع أو تداخل تلك المنحنيات مع بعضها في نطاق القيم الفعلية لتيارات القصر. يبين الشكل ٤ ـ ٢٦ خطة حماية سليمة بين ثلاثة قواطع على التوالي. وقد تم رسم المناطق الفعلية للحماية الخاصة لكل قاطع.

يمكن القول بصفة عامة على أنه لكي تحدث عملية التنسيق السليمة فإن زمن قطع القاطع الأبعد من المصدر يجب أن يكون أقل من زمن تحرير آلية إعتاق القاطع المجاور له من ناحية المصدر.

يمكن ـ علاوة على ما سبق ـ استخدام الجداول الانتقائية الخاصة بالقواطع والتي تصدرها مصانع القواطع، حيث يمكن الاستفادة بها في حالات التنسيق البسيطة نسبياً. تنص المواصفة (IEC 947 - 2) على أنه يجب على مصنع القواطع إصدار خريطة انتقائية أو جدول انتقائي يمكن عن طريقة تحديد القاطعين اللذين يعملان على التوالي (أحدهما من جانب التغذية والثاني من جانب الحمل)، وذلك بعد معرفة تيارات الحمل وقصر الدائرة. تختلف تلك الجداول والخرائط باختلاف مصنع القواطع، ويجب الرجوع إلى المصنع المختص في هذا الشأن.



شكل ٤ ـ ٢٦ تنسيق بين ثلاثة قواطع متتالية

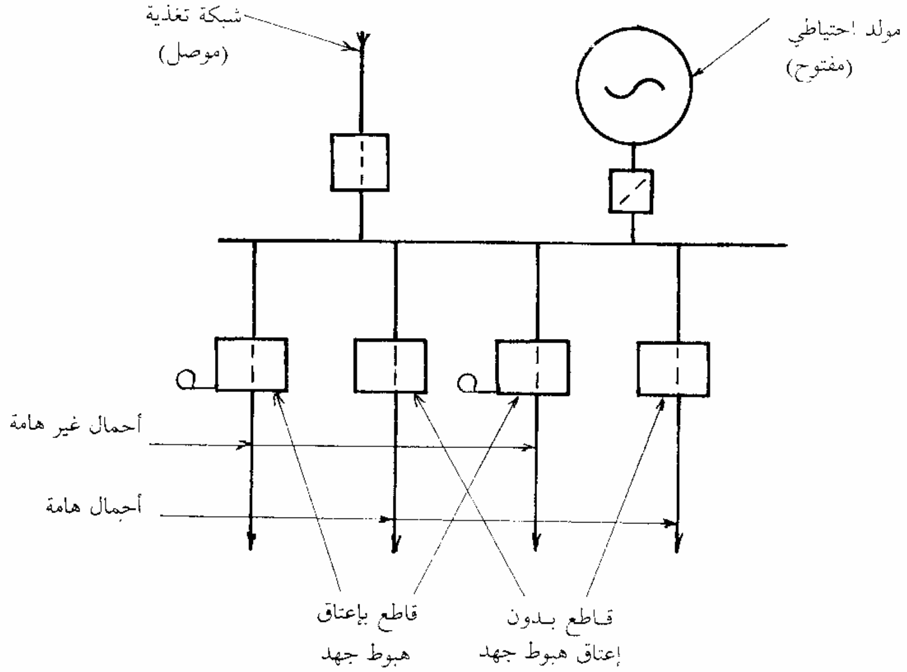
٤ ـ ١٠ الأجهزة المساعدة والإضافات:

نظراً لارتفاع أسعار قواطع الدائرة النسبي وتنوع خصائصها وتصميماتها تنوعاً شديداً فإننا نجد أن مصانع القواطع تصنع بعض الأجهزة والتركيبات المساعدة ـ والتي تحقق عملاً معيناً ـ بصورة اختيارية عند الطلب. من هذه الأجهزة والتركيبات ما هو كهربي وما هو ميكانيكي، ومنها ما يكون بغرض زيادة الأمان. نذكر من هذه الأجهزة على سبيل المثال ما يأتي:

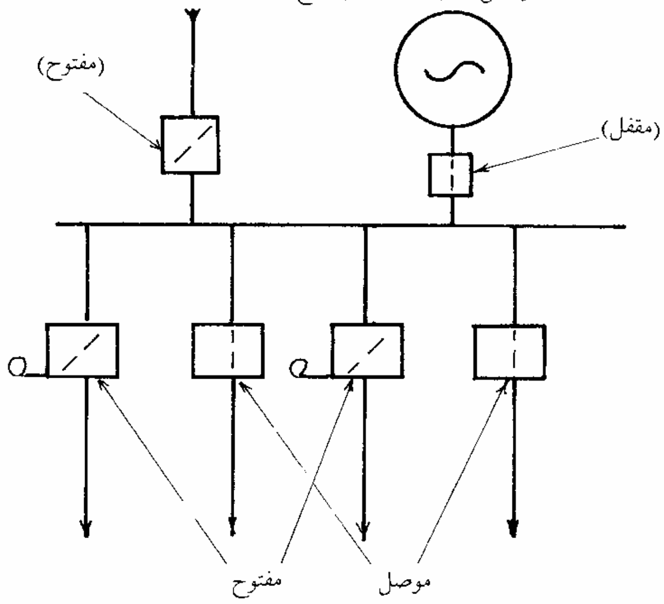
١ ـ **وحدة إعتاق هبوط الجهد Undervoltage release**: وتفتح هذه الوحدة القاطع عندما يهبط الجهد عن حد معين من الجهد المقنن (بين ٣٥٪ و ٧٠٪ من الجهد المقنن عادة). ولا يمكن إعادة قفل القاطع سواء باليد أو كهربياً إلا إذا عاود الجهد ارتفاعه إلى حوالي ٨٥٪ من الجهد المقنن. ويمكن أن يكون عمل هذه الوحدة لحظياً أو بتأخير زمني. يمكن الإستفادة من وحدة إعتاق هبوط الجهد في الشبكات الصناعية التي يتم تغذيتها من الشبكة العامة ولها مولد تغذية احتياطي يستعمل لتغذية الأحمال الهامة فقط عند انقطاع تغذية الشبكة العامة. يتم ذلك عن طريق تزويد قواطع الدائرة على الأحمال غير الهامة بوحدة إعتاق هبوط الجهد. يبين تلك الفكرة الشكل ٤ ـ ٢٧ ـ أ و ٤ ـ ٢٧ ـ ب.

٢ ـ وسيلة صد ميكانيكي لمنع فتح القاطع في حالة توصيله.

٣ ـ بعض وسائل الأمان كالحواجز بين الأطوار وبعضها وغطاء حجرة القوس وباب خارجي للقاطع.



أ ـ تغذية من الشبكة العامة (جميع الأحمال موصلة).



ب ـ تغذية من مولد احتياطي (الأحمال الهامة فقط موصلة).

شكل ٤ ـ ٢٧ استخدام وحدة إعتاق هبوط الجهد

الباب الخامس

مرحلات تجاوز التيار

Overcurrent Relays

٥ ـ ١ مقدمــة:

مرحلات تجاوز التيار هي أجهزة حماية تقوم باستشعار التيار المار في الدائرة المراد حمايتها، وتبعاً لنتيجة قياس هذا التيار فإن المرحل يقوم عادة بإعطاء إشارة تحكم إلى قاطع الدائرة. يتم إرسال إشارة التحكم عن طريق قفل دائرة إعتاق القاطع.

تُستخدم المرحلات عادة مع قواطع الجهد لأعلى من ١٠٠٠ ڤولت، وقد تستخدم في بعض الأحيان مع قواطع الجهد المنخفض وذلك في الحالات التي تتطلب دقة عالية في المنحنيات الخصائصية والتي لا تتوافر عادة في وحدات الإعتاق المباشر Direct-acting trip المستعملة في قواطع الجهد المنخفض والتي تحدثنا عنها في الباب الرابع.

يبين الشكل ٤ ـ ٢ طريقة عمل المرحل، حيث يستقبل التيار من محول التيار، وتبعاً لقيمة هذا التيار يقوم القاطع بقفل دائرة إعتاق القاطع. والغرض من استعمال محول التيار (أو محول الجهد) هو ضمان عزل كهربي لأجهزة الحماية عن باقي المنظومة وكذلك تحويل القيم العالية للتيارات والجهود إلى قيم تتلائم مع مقننات المرحل ثم تغذية المرحل بها.

تختلف المرحلات اختلافاً كبيراً من حيث التصميم، وذلك تبعاً للغرض المطلوب منها، ولا يمكن من وجهة النظر العملية حصر جميع أصناف المرحلات، وإنما يمكن القول بصفة عامة أنَ أغلب المرحلات المستخدمة في الصناعة تتبع أحد الأنواع الآتية:

١ ـ مرحلات كهرومغناطيسية Elcctromagnetic relays.

٢ ـ مرحلات حرارية Thermal relays.

٣ ـ مرحلات ساكنة Static relays (solid-state).

٤ ـ مرحلات رقمية Digital relays.

سوف نعطي فكرة موجزة عن كل نوع من أنواع المرحلات السابقة مع التركيز على طريقة الاختيار والضبط والاستخدام.

٥ ـ ٢ المرحلات الكهرومغناطيسية:

لازالت المرحلات الكهرومغناطيسية أكثر أنواع المرحلات استخداماً في الصناعة. ذلك على الرغم من التقدم الهائل الذي حدث في صناعة المرحلات الساكنة وكذلك التطور السريع الذي يحدث الآن في صناعة المرحلات الرقمية. إن ذلك يرجع إلى الأداء الممتاز للمرحلات الكهرومغناطيسية وكذلك احتمالها الجيد للحالات الشاذة كارتفاعات الجهد وعدم تأثرها الشديد بالتوافقيات المتولدة في الشبكة وذلك بالمقارنة بالمرحلات الساكنة والرقمية. يوجد نوعان رئيسيان من المرحلات الكهرومغناطيسية.

١ ـ مرحلات الذراع المنجذب Attracted armature relays.

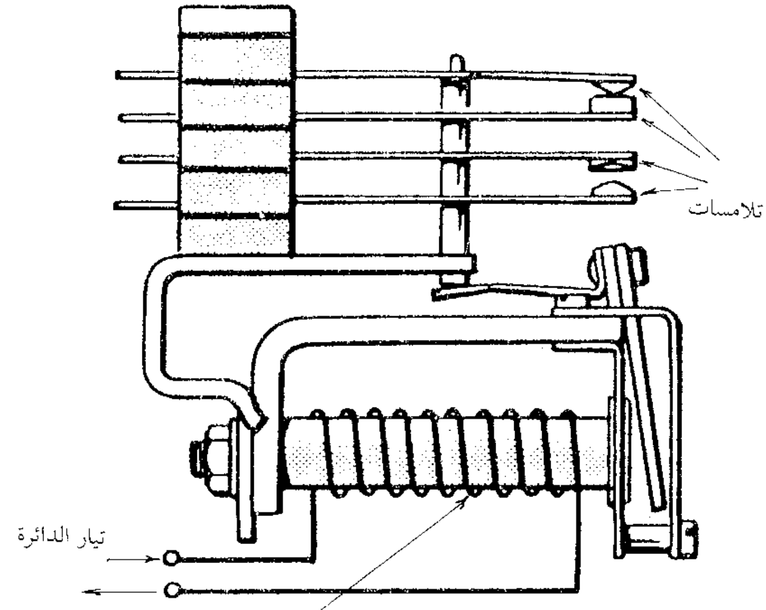
٢ ـ المرحلات الحثية Induction relays.

٥ ـ ٢ ـ ١ مرحلات الذراع المنجذب:

وهو أبسط أنواع المرحلات. وتعتمد فكرته على توليد قوة جذب من مغناطيس كهربي يتم إثارته بالتيار المراد قياسه. وعندما يزيد التيار عن حد معين فإن قوة الجذب تكون قادرة على تحريك ذراع (أو مروحة مثلاً) مما ينشأ عنه

قفل تلامسات المرحل مما يؤدي بدوره إلى قفل دائرة الإعتاق لقاطع الـدائرة. يبين الشكل ٥ ـ ١ أحد تصميمات هذا المرحل. وتتناسب قوة الجذب مع مربع التيار المار في المـرحل (والقـادم من محول التيـار)، وتُعرف قيمـة التيار التي يعمل عندها المرحل بقيمة اللقط Pick-up. ويعود المرحل إلى وضعه الأول إذا انخفضت قيمـة التيار مـرة أخرى عن قيمـة تعرف بـاسم قيمة الـرجوع Reset (drop-off)، وهي أقل عادة من قيمة اللقط. وتعرف النسبة بين قيمة تيار الرجوع وقيمة تيار اللقط بنسبة الرجوع/اللقط Reset/pick-up ratio ويطلق عليها أحياناً إسم نسبة التوقيف Holding ratio. وهذه القيمة لهـا أهمية خـاصة للمـرحلات التي لها خاصية الرجوع الذاتي Self reset، وهي تتراوح بين ٠,٦ إلى ٠,٩٩ في معظم المرحلات الكهرومغناطيسية.

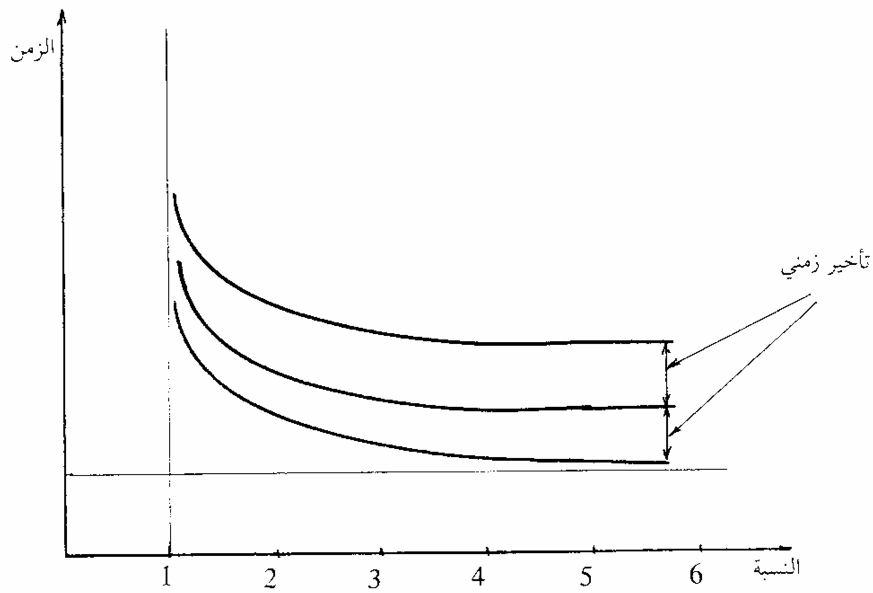
تعتبر مرحلات الذراع المنجذب من المرحلات السريعة سواء في اللقط أو الرجوع وذلك نظراً لصغر المسافة التي يتحركها الذراع. وهو بطبيعته مرحل



شكل ٥ ـ ١ مرحل ذو ذراع منجذب

فوري، أي لا توجد به وسيلة تأخير زمني ذاتية. وهو يشبه في تكوينه وخواصه وحدات الإعتاق الكهرومغناطيسي المباشر في قواطع الجهد المنخفض. ويمكن استعماله على التيار المتردد والتيار المستمر. كما يمكن تصميمه لكي يعمل على تجاوز التيار أو تجاوز الجهد أو انخفاض التيار أو انخفاض الجهد.

المنحنيات الخصائصية بين الزمن والتيار لمرحلات الذراع المنجذب تعرف باسم منحنى ذي زمن محدد Definite-time، ويمكن عادة إدخال تأخير زمني على المنحنى كما يمكن ضبط قيمة تيار اللقط وذلك بطرق مشابهة لتلك المستخدمة في قواطع الجهد المنخفض. يبين الشكل ٥ ـ ٢ منحنى الزمن ـ التيار للمرحل.



شكل ٥ ـ ٢ منحنى الزمن ـ التيار لمرحل ذراع منجذب

٥ ـ ٢ ـ ٢ المرحلات الحثية:

تتبع المرحلات الحثية في تشغيلها نفس نظرية تشغيل المحركات الحثية. يتولد عزم الدوران في المرحل بتعريض جسم قابل للدوران (قرص Disc أو أسطوانة مفرغة Cup) لمجالين مغناطيسيين مترددين بينهما زاوية معينة. ويمكن توليد هذين المجالين إما من كمية واحدة أو من كميتين (تيار واحد أو تيارين أو تيار وجهد). ينشأ في جميع الحالات عزم دوران على الصورة

$$T = K \phi_1 \phi_2 \sin \alpha \qquad (1-5)$$

حيث:

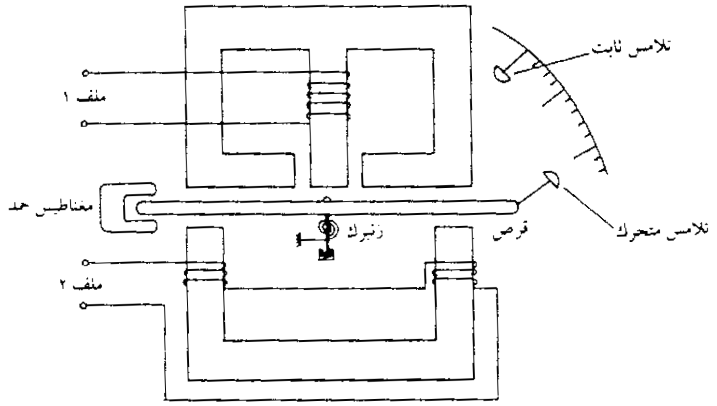
T: عزم الدوران.

K: ثابت يعتمد على تصميم المرحل.

ϕ_1 و ϕ_2: فيضان مغناطيسيان.

α: الزاوية بين ϕ_1 و ϕ_2.

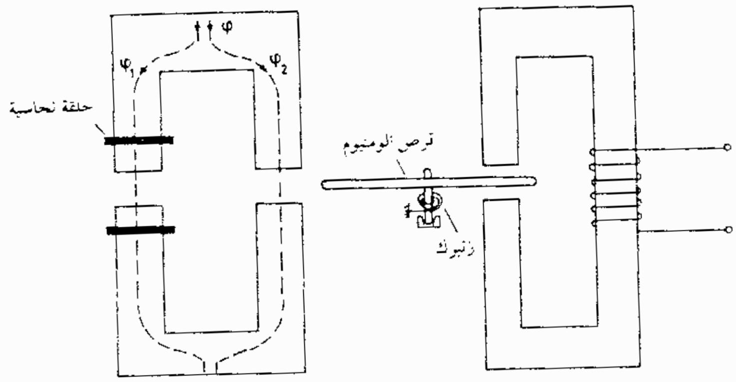
يبين الشكل ٥ ـ ٣ تصميماً نمطياً للمكونات الرئيسية للمرحل الحثي. يولد التيار المار في ملف المغناطيس العلوي فيضاً مغناطيسياً يتسبب في تولد تيارات دوامية Eddy currents في القرص، وبالمثل فإن التيار المار في ملف المغناطيس السفلي يولد فيضاً مغناطيسياً يتسبب بدوره في توليد تيارات دوامية



شكل ٥ ـ ٣ المكونات الرئيسية للمرحل الحثي

أخرى في القرص. يتعرض القرص بهذه الطريقة إلى عزمي دوران؛ الأول بسبب تفاعل التيارات الدوامية المتولدة من التيار الأول مع المجال المغناطيسي المتولد من التيار الثاني، العزم الثاني بسبب تفاعل التيارات الدوامية المتولدة من التيار الثاني مع المجال المغناطيسي المتولد من التيار الأول. والعزم النهائي المسبب لدوران القرص هو محصلة العزمين السابقين.

يبين الشكل ٥ ـ ٤ إمكانية الحصول على عزم دوران باستخدام تيار واحد (أو جهد)، حيث تولد كمية الإثارة مجالاً مغناطيسياً في الفجوة الهوائية للمغناطيس الموجود بها قرص من الألومنيوم. ويتكون كل قطب من قطبي المغناطيس من شقين، أحدهما محوط بحلقة ثقيلة من النحاس، وتقوم هذه الحلقة ـ نتيجة للتيارات المستحثة فيها ـ بتأخير مرحلي للفيض المار بها بالنسبة للفيض المار بالشق الآخر. يسمى هذا التصميم بالمرحل ذي القطب المحجب Shaded-pole. يمكن الحصول على زاوية تأخير تصل إلى ٤٥° في



شكل ٥ ـ ٤ مرحل حتى بكمية تشغيل واحدة وقرص محجب

هذا التصميم. وفي حالة الحاجة إلى زاوية أكبر من ذلك يستخدم التصميم المبين بالشكل ٥ ـ ٥.

العزوم المؤثرة على القرص هي ما يأتي:

١ ـ عزم التشغيل T_1، وهو يتناسب مع مربع التيار:

$$T_1 = K_1 I^2 \qquad (2\text{-}5)$$

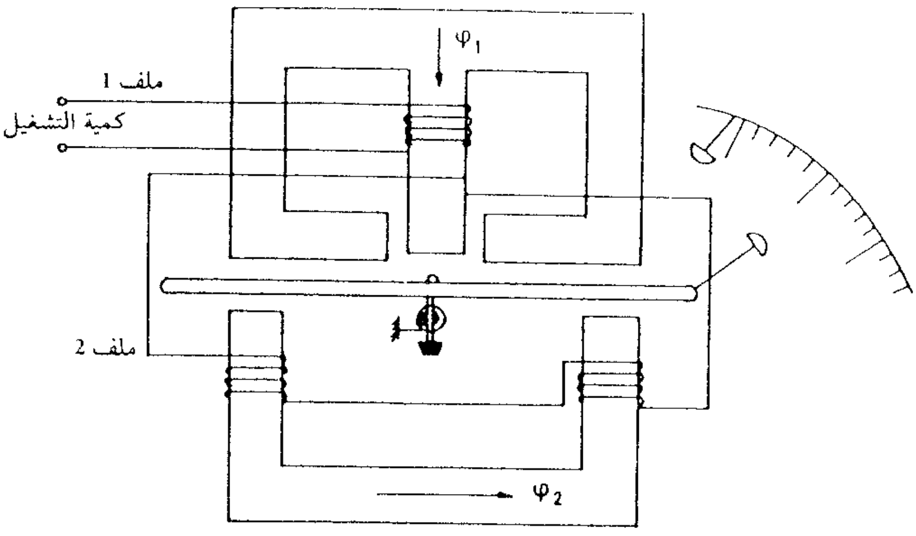
٢ ـ عزم مقاومة الزنبرك T_2، وهو ثابت:

$$T_2 = K_1 I_0^2 \qquad (3\text{-}5)$$

حيث I_0 تيار اللقط.

٣ ـ عزم الخمد Damping torque، وهو العزم الناتج من تفاعل مجال المغناطيس الدائم مع التيارات الدوامية في القرص. ويظهر هذا العزم فقط أثناء دوران القرص حيث أنه يتناسب مع سرعة القرص. أي أن عزم الخمد T_3 هو:

$$T_3 = K_2 (d/t) \qquad (4\text{-}5)$$



شكل ٥ ـ ٥ مرحل حثي بكمية تشغيل واحدة وملفين

حيث d المسافة التي يتحركها القرص قبل أن يتلامس طرفاه و t هو زمن الحركة، وذلك على فرض أن سرعة دوران القرص ثابتة.

العزم الكلي المؤثر على القرص أثناء حركته هو:

$$T = K_1 (I^2 - I_0^2) - K_2 (d/t) \qquad (5\text{-}5)$$

أما عندما يكون القرص على وشك الحركة فإن عزم الخمد يساوي الصفر. يمكن إيجاد العلاقة بين زمن الحركة والتيار المسبب للحركة من المعادلة (٥ ـ ٥):

$$t = \frac{K_2 d}{(I^2 - I_0^2)} \qquad (6\text{-}5)$$

يتضح من المعادلة السابقة أن قرص المرحل يبدأ في الدوران عندما يتجاوز التيار I المار فيه قيمة معينة I_0. ويتناسب الزمن الذي يستغرقه المرحل من لحظة دورانه وحتى لحظة تلامس طرفيه عكسياً مع مربع التيار المار فيه. وتعرف تلك المرحلات لهذا السبب بالمرحلات ذات الزمن العكسي Inverse-time relays. يبين الشكل ٥ ـ ٦ الشكل العام لمنحنى الزمن ـ التيار لهذا المرحل.

يمكن في هذا النوع من المرحلات إجراء نوعين منفصلين من الضبط.

١ ـ ضبط تيار اللقط I_0، وذلك عن طريق تغيير وضع قابس التيار فيتغير تبعاً لذلك عدد اللفات التي يمر فيها التيار مع ثبات عزم الزنبرك. ويمكن بهذه الطريقة اختيار قيمة تيار لقط المرحل.

٢ ـ ضبط للزمن، ويتم ذلك عن طريق ضبط المسافة التي يدورها القرص قبل أن يتلامس طرفا المرحل. ويتم ذلك على المرحل باستخدام تدريج عليه معاملات تعرف بإسم مضروبات الزمن Time-multipliers، وهي تتراوح بين ٠,٥ إلى ١١ في التصميمات الأمريكية، وبين ٠,٠٥ إلى ١ في التصميمات الأوروبية عادة. ويمكن ـ تبعاً للتصميم ـ اختيار القيمة المناسبة للزمن المطلوب حيث تتناسب قيمة المضروب الزمني مع زمن التشغيل.

ولـلاستفادة من هـاتين الوسيلتين من الضبط يـزود صانعـو المـرحـلات المستعملين لهـا بمجموعـة من المنحنيات الخصـائصيـة التي تـربط بين زمن تشغيل المرحل والتيار المار به بحيث يناظر كـل منحنى مضروبـاً زمنياً معينـاً. ويمكن بذلك اختيار المنحنى المنـاسب عند ضبط المـرحل بحيث يتنـاسق مع المرحلات وأجهزة الحماية الأخرى المجاورة له.

يمكن عن طريق إجراء تغييرات في التصميم تغيير درجة التعاكسيـة بين التيار والزمن بحيث تكون على الصورة العامة:

$$t = \frac{Kd}{I^n} \qquad (7\text{-}5)$$

ويمكن عن طـريق تغييـر قيمـة n الحصـول على درجـات مختلفـة من التعاكسية على النحو التالي:

١ - مرحل ذو زمن تأخير قصير (شكل ٥ - ٦) Short-time relay.

٢ - مرحل ذو زمن تأخير طويل (شكل ٥ - ٧) Long-time relay.

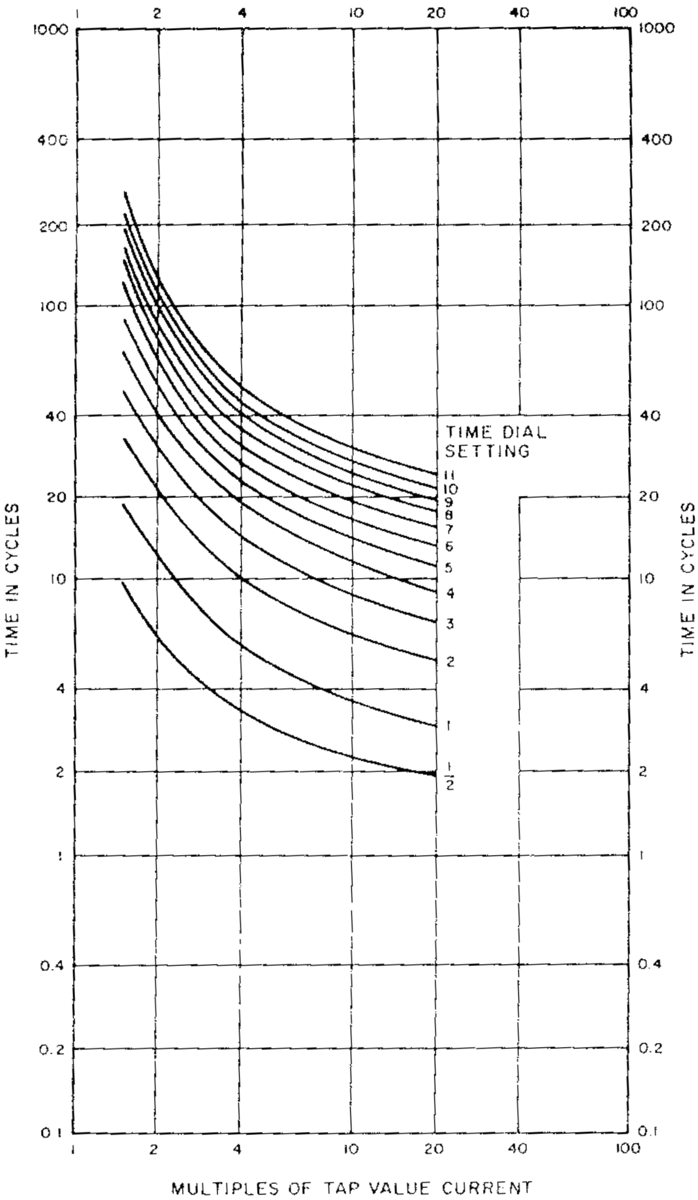
٣ - مرحل ذو أقل زمن محدد (شكل ٥ - ٨) Definite minimum-time relay.

٤ - مرحل ذو تعاكسية معتدلة (شكل ٥ - ٩) Moderately inverse-time relay.

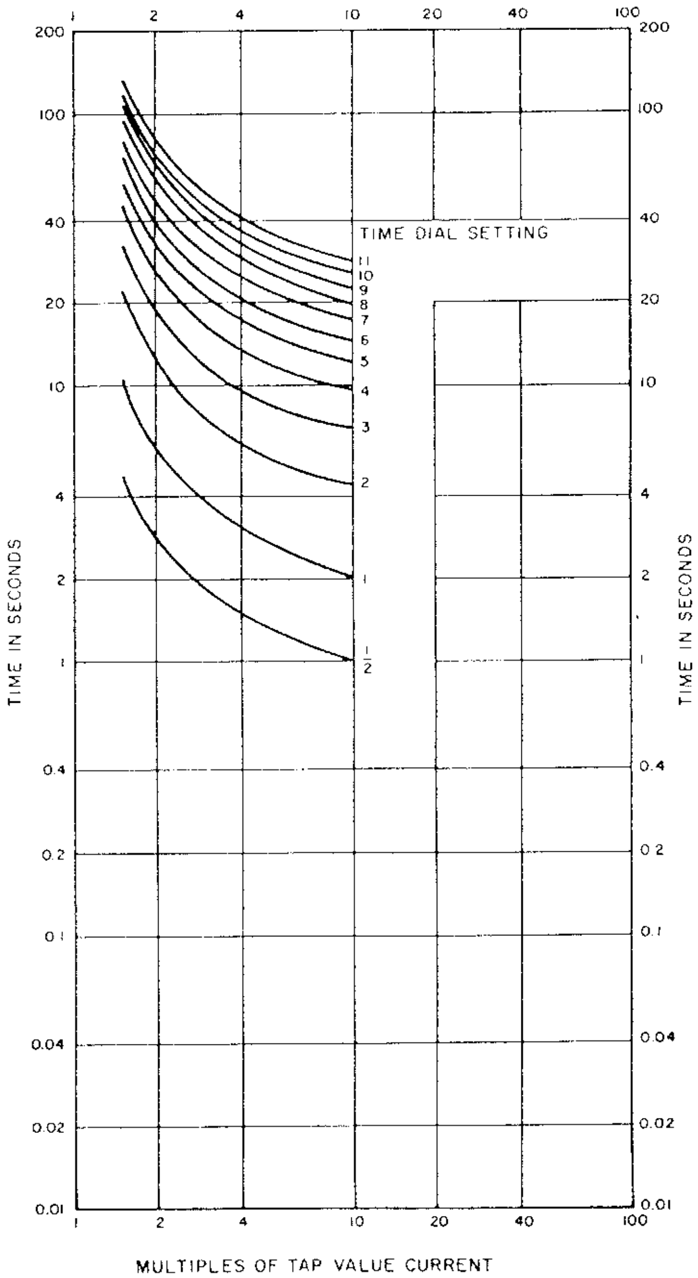
٥ - مرحل ذو خاصية تعاكسية (شكل ٥ - ١٠) Inverse-time relay.

٦ - مرحل ذو تعاكسية شديدة (شكل ٥ - ١١) Very inverse-time relay.

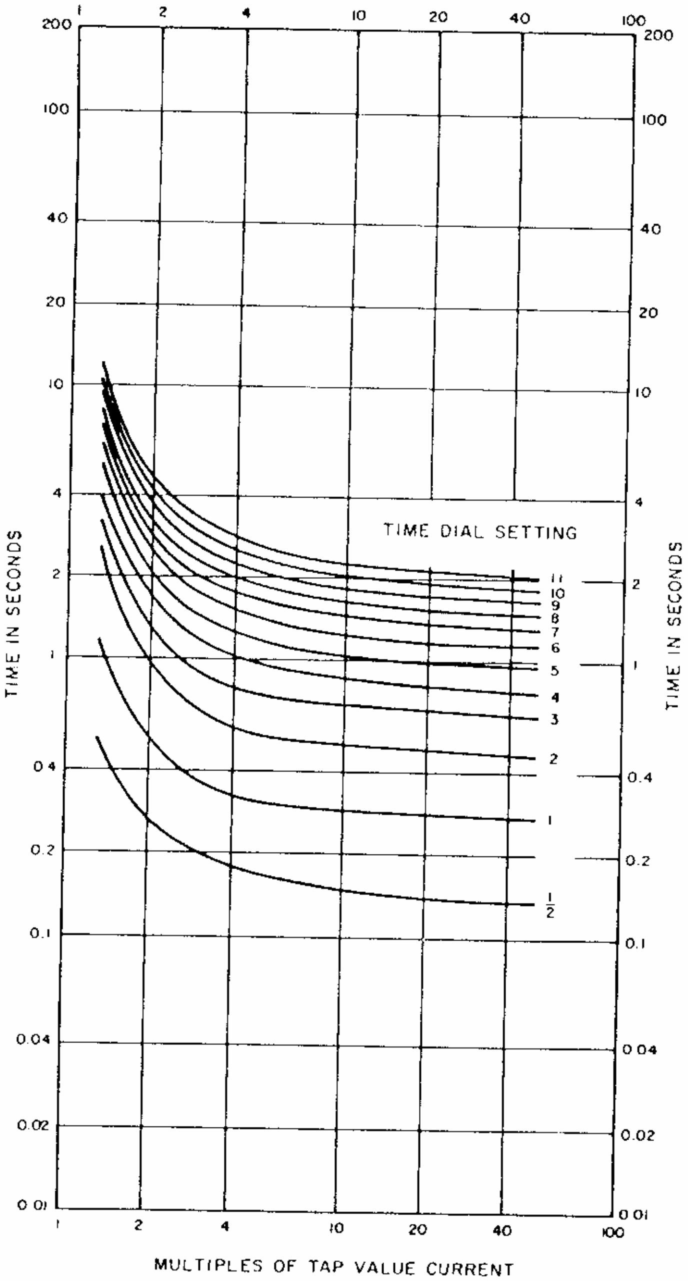
٧ - مرحل ذو تعاكسية فائقة (شكل ٥ - ١٢) Extremely inverse-time relay.



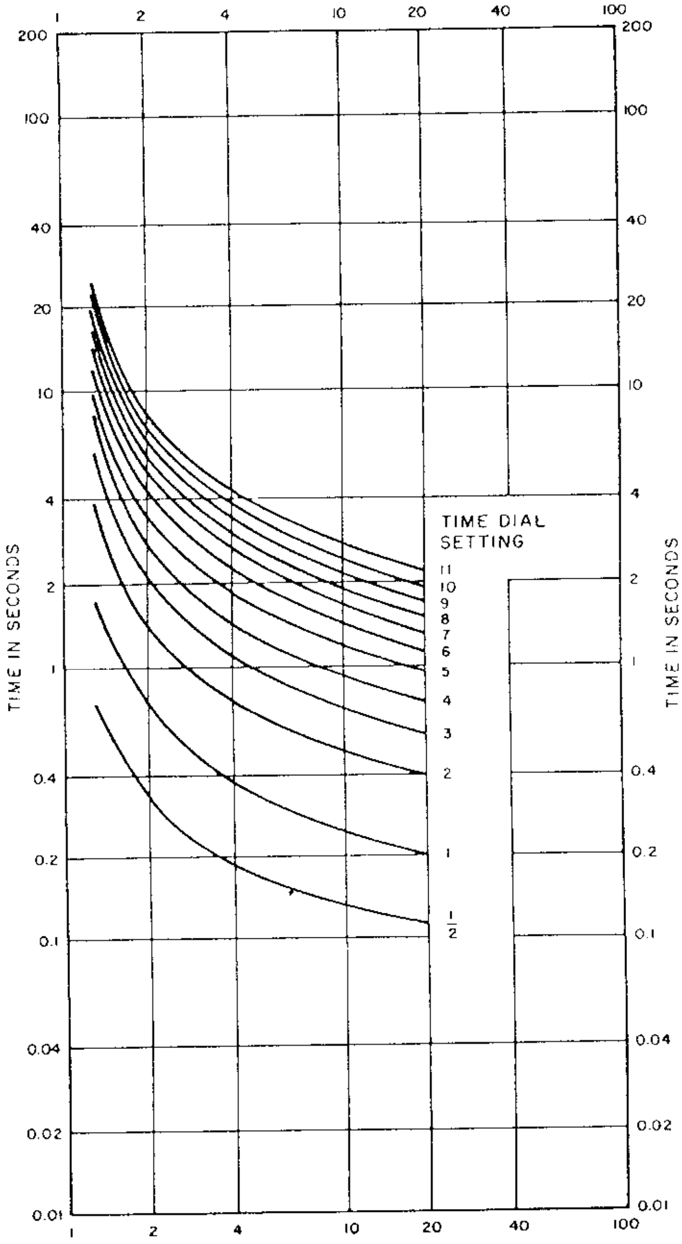
شكل ٥ ـ ٦ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي زمن تأخير قصير



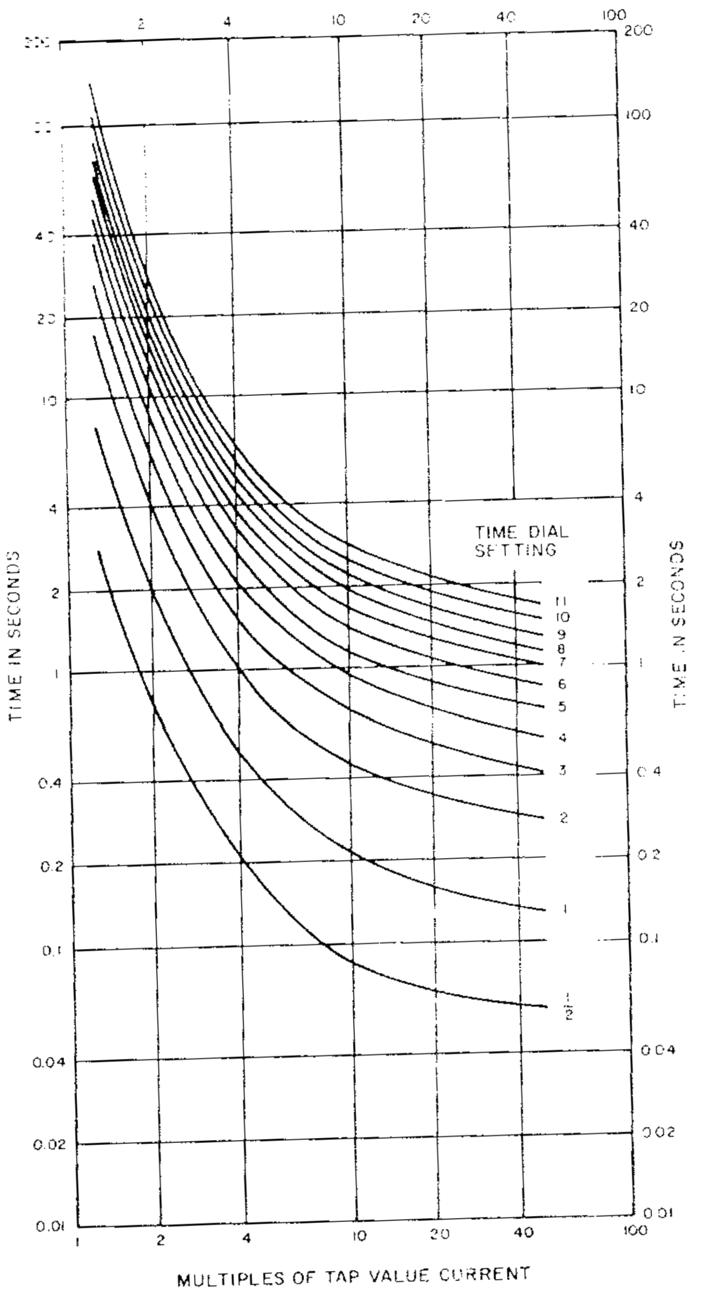
شكل ٥ ـ ٧ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي زمن تاخير طويل



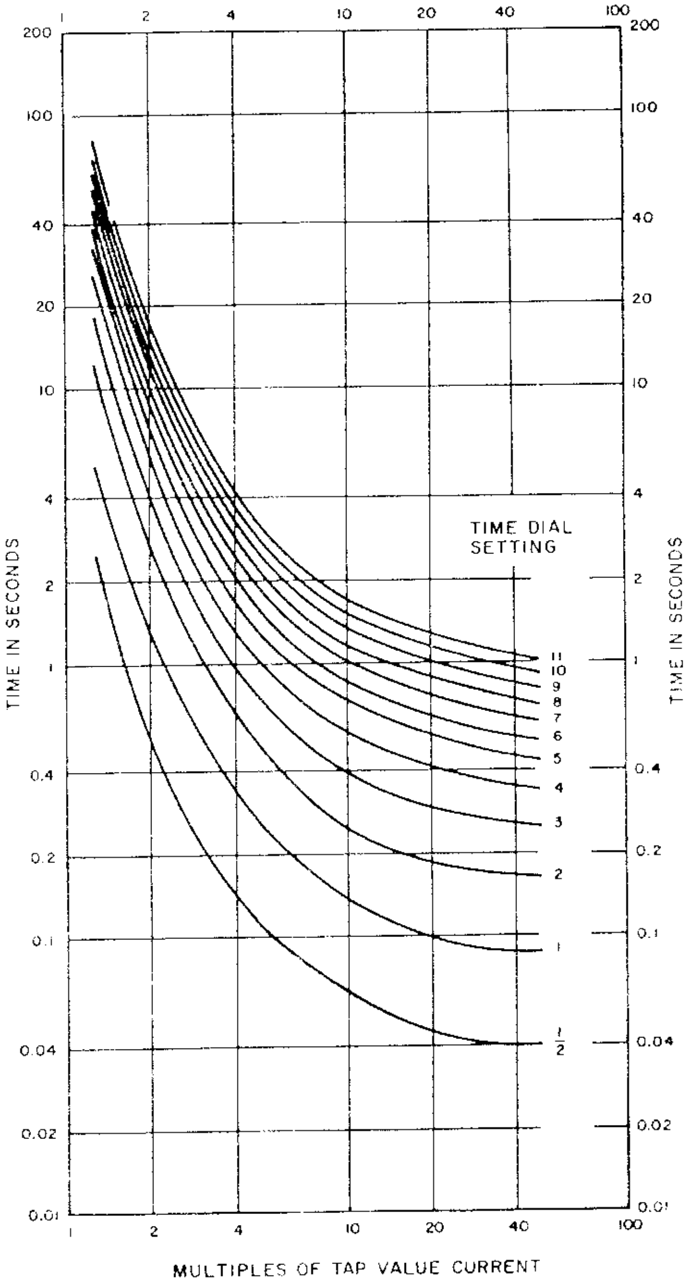
شكل ٥ ـ ٨ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي أقل زمن محدد



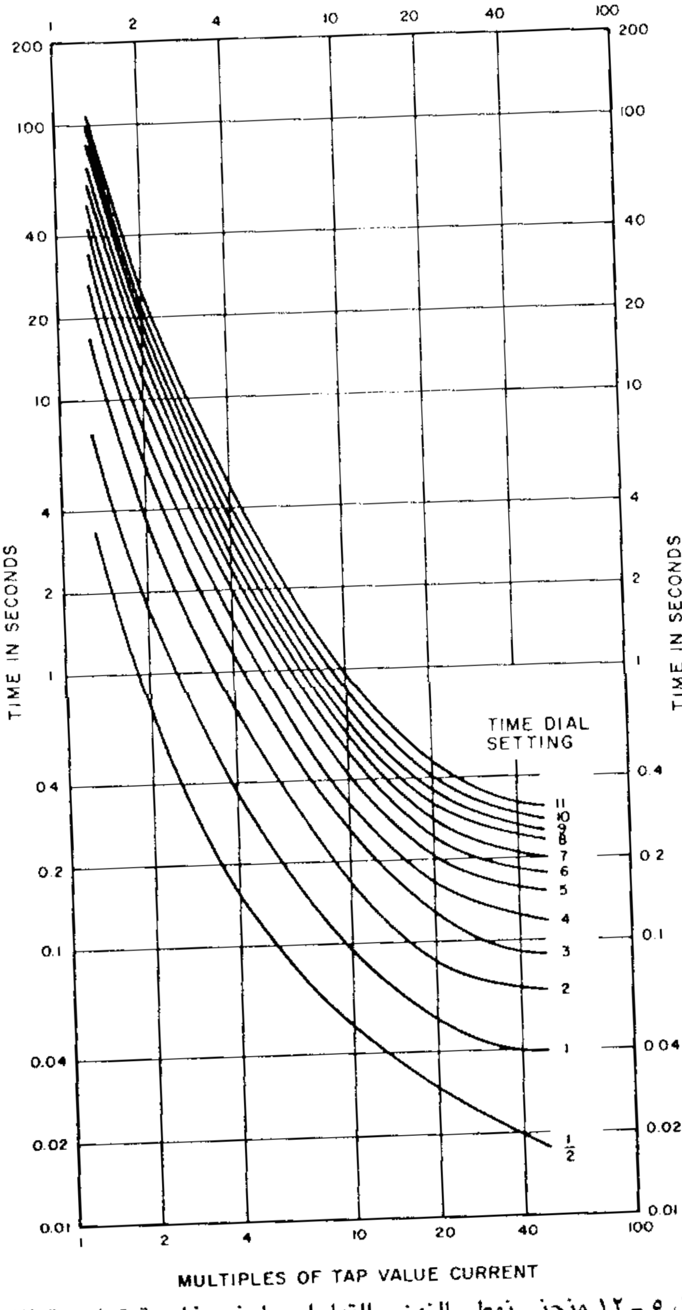
شكل ٥ ـ ٩ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي خاصية تعاكسية معتدلة



شكل ٥ ـ ١٠ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي خاصية تعاكسية

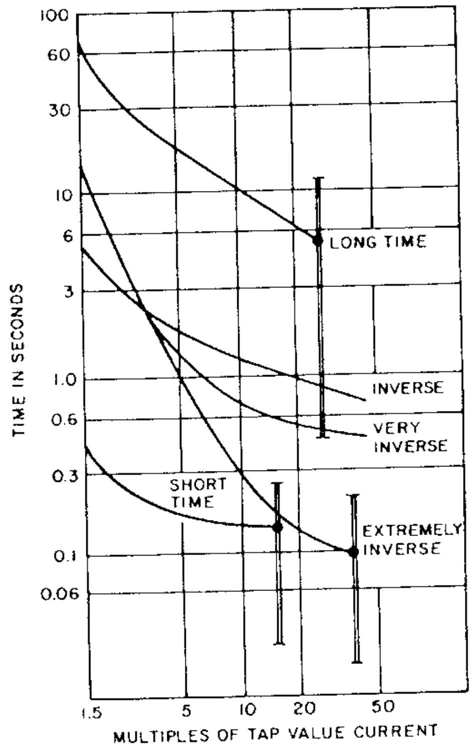


شكل ٥ ـ ١١ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي خاصية تعاكسية شديدة



شكل ٥ ـ ١٢ منحنى نمطي الزمن ـ التيار لمرحل ذي خاصية تعاكسية فائقة

ويجب ملاحظة أن كـل مرحـل معين له خـاصية واحـدة، بمعنى أنه لا يمكن استخدام مرحل ذي أقل زمن محدد وإعادة ضبطه لكي يعطي تعـاكسية فائقة مثلاً. إن كل ما يمكن عمله هو اختيار منحنى مناظر لمضروب زمني معين وكذلك تغيير قيمة تيار اللقط تبعاً لإمكانيات هذا المرحل المعطاة من المصنع. يبين الشكل ٥ ـ ١٣ الاختلاف النسبي بين أشكـال المنحنيات ذات الخصـائص المختلفة لمضروب زمني مقداره (٥) لجميع المرحلات.

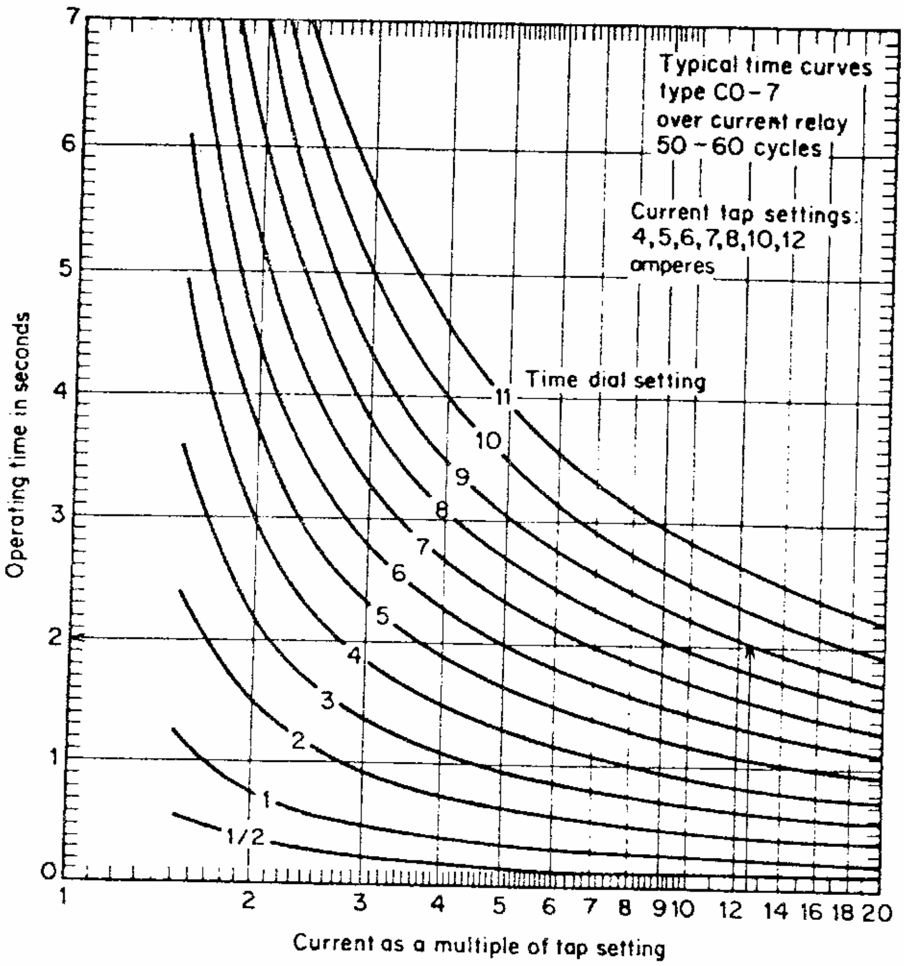


شكل ٥ ـ ١٣ مقارنة بين منحنيات مرحلات تجاوز التيار

تجدر الإشارة هنا إلى أن بعض المصانع لا تعطي المنحنيـات الخاصـة بالمضروبات الزمنية، وإنما تعطي منحنى واحداً مناظراً لمضروب زمني مقداره

الواحد الصحيح ، وذلك على أساس أن زمن التشغيل يتناسب طردياً وخطياً مع مقدار المضروب الزمني . كما نجـد في بعض الأحيان أن العـلاقة بين الـزمن والتيار تعطى في جدول بدلاً من منحنى .

علاوة على ما سبق فإن مرحل تجاوز التيار يمكن ضبطه على مجموعة من قيم التيار بحيث أن القيمة المختارة تكون هي قيمة ضبط القابس Plug setting . ويكـون تيار اللقط عـادة أكبر من قيمـة ضبط القـابس (من ١١٠٪ إلى ١٢٥٪ تقريباً). وتُعطى المنحنيات الخصائصية بين الزمن وبين النسبة بين التيار المار في المـرحـل وقيمة ضبط القـابس لجميـع المضـروبـات الـزمنيـة. يبين الشكل ٥ ـ ١٤ هذا التوضيح .



شكل ٥ ـ ١٤ خريطة منحنيات خصائصية مبين عليها مضروبات مقنن قابس التيار

سوف نوضح طريقة استخدام المرحلات ببعض الأمثلة.

مثال ٥ ـ ١:

نعتبر مرحلاً له منحنيات خصائصية معطاة بالشكل ٥ ـ ١٤. يتم تغذية هذا المرحل من خلال محول تيار بنسبة تحويل ٥/٦٠٠. تيار الخطأ ٩٠٠٠ أمبير، وتيار الحمل الكامل ٦٠٠ أمبير والدائرة مصممة بحيث تتحمل تجاوزاً في الحمل مقداره ٢٠٪. إذا كان المطلوب أن يعمل هذا المرحل بعد ثانيتين من لحظة حدوث قصر الدائرة، فيمكن ضبط المرحل كما يأتي:

تيار الحمل = ٦٠٠ أمبير.

تيار المرحل المناظر للحمل الكامل =

$$600 \times \frac{5}{600} = 5\text{ A.}$$

تيار تجاوز الحمل =

$$600 \times \frac{120}{100} = 720\text{ A.}$$

ويناظره تيار في المرحل =

$$720 \times \frac{5}{600} = 6\text{ A.}$$

وبذلك يتم ضبط قيمة تيار اللقط على القيمة المناظرة أو الأعلى مباشرة وهي ٦ أمبير.

تيار القصر المار في المرحل =

$$9000 \times \frac{5}{600} = 75\text{ A.}$$

وهو يناظر نسبة من قيمة ضبط القابس =

$$75 \div 6 = 12.5$$

وبالرجوع إلى شكل ٥ ـ ١٤ نجد أن تلك النسبة تسبب عمل المرحل بعد ثانيتين إذا تم ضبطه على مضروب زمني مقداره «٩».

مثال ٥ ـ ٢:

يبين هذا المثال طريقة ضبط مرحلين بهدف الحصول على تنسيق زمني بينهما. يتم حماية الخطين L1 و L2 بواسطة مرحلين R1 و R2 كما هو مبين بالشكل ٥ ـ ١٥ ـ أ. تيار القصر عند F يساوي ٤٠٠٠ أمبير. تيار الحمل الكامل في الخط ٢٠٠ أمبير. يمكن السماح بتحميل زائد للخط L2 حتى ١٢٥٪، بينما لا يمكن زيادة تحميل الخط L1. المطلوب ألا يزيد زمن فصل الخطأ بواسطة R1 عن ٠,٠٤ ثانية، ويعمل R2 كحماية ثانوية بهامش زمني لا يتعدى ٠,٤ ثانية ولا يقل عن ٠,٣٥ ثانية. خواص المرحلين معطاة على الشكل ٥ ـ ١٥ ـ ب.

نوجد أولاً نسبة ضبط القابس Plug-setting multiplier لكل مرحل.

مرحل R1:

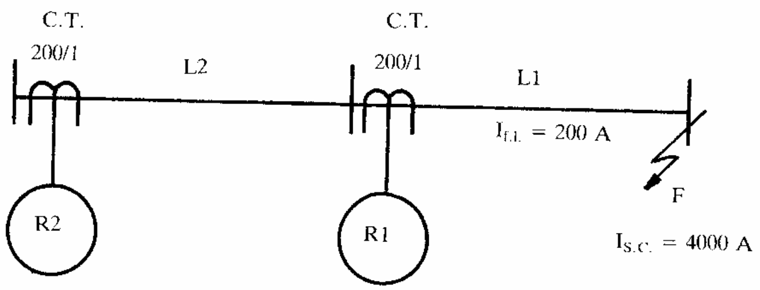
تيار الحمل الكامل:

$$I_{f.1} = 200 \text{ A}$$

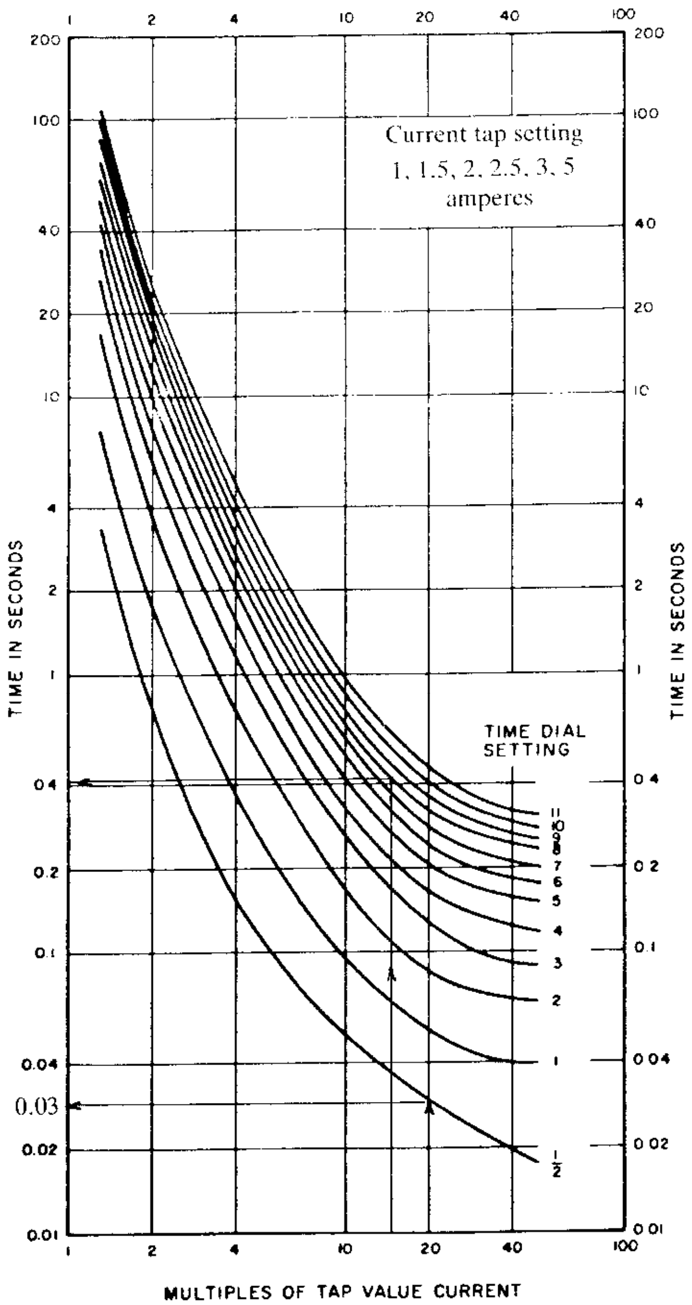
تيار المرحل المناظر:

$$i_t = 200 \times \frac{1}{200} = 1 \text{ A}$$

بدون تحميل زائد. ويتم ضبط قابس المقنن على ١ أمبير.



شكل ٥ ـ ١٥ ـ أ منظومة المثال ٥ ـ ٢



شكل ٥ ـ ١٥ ـ ب حل المثال ٥ ـ ٢

وتكون نسبة ضبط القابس عند تيار قصر ٤٠٠٠ أمبير هي:

$$\frac{4000}{200} = 20$$

وبالرجوع إلى شكل ٥ ـ ١٥ ـ ب نجد أن الزمن ٠٤, يتحقق بمضروب زمني مقداره «١/٢»، حيث يعطي زمناً مقداره ٠٣, ثانية تقريباً.

المرحل R2:

يعمل هذا المرحل على زمن يتراوح بين (٠,٣٥ + ٠٣,) و(٠,٤ + ٠٣,) ثانية، أي بين ٠,٣٨ و٠,٤٣ ثانية.

يسمح لهذا المرحل بزيادة حمل حتى ١٢٥٪، أي حتى:

$$1 \times 1.25 = 1.25\ A$$

وعلى ذلك فيكون مقنن القابس هو الأكبر مباشرة:

$$I_0 = 1.5\ A$$

ونسبة تيار القصر إلى مقنن القابس هي:

$$\frac{4000}{200} \div 1.5 \simeq 13$$

ويمكن تحقيق الزمن المطلوب عند هذه النسبة بضبط المرحل R2 على مضروب زمني = ٨ كما هو مبين بالشكل.

٥ ـ ٣ المرحلات الساكنة:

المرحلات الساكنة هي مرحلات تنشأ فيها الاستجابة المطلوبة عن طريق مكونات إلكترونية أو مغناطيسية أو أي مكونات أخرى دون حدوث حركة. يتم الآن إنتاج المرحلات الساكنة على نطاق واسع بحيث أنها يمكن أن تؤدي نفس وظائف المرحلات الكهرومغناطيسية. وبإجراء مقارنة سريعة بين هذين النوعين من المرحلات يمكن القول بصفة عامة أن المرحلات الساكنة تتفوق على المرحلات الكهرومغناطيسية عند الحاجة إلى أداء متعدد وقياسات كثيرة كما في

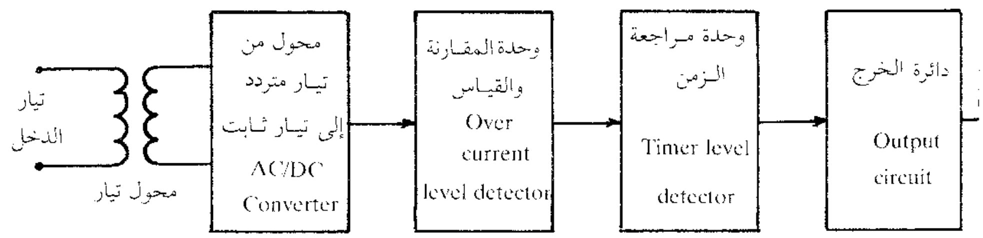
حالة مـرحلات المسـافة مثـلاً Distance relays وبعض أنواع الحمـاية الفـرقية Differential protection. وعلى العكس من ذلـك فإن مـرحلات تجـاوز التيار الكهرومغناطيسية ما زالت حتى الآن الأكثر استخداماً بسبب بساطـة تصميمها ومناسبتها للاستعمال في الشبكات الصناعية البسيطة نسبياً.

تتكون المرحلات الساكنة من عدد من المكونات والدوائر بحيث يقوم كل جهاز أو كل دائرة بعمل معين مثل:

١ ـ التحويل من تيار متردد إلى تيار ثابت.
٢ ـ قفل وفتح الدائرة.
٣ ـ مقارنة كمية الدخل بكمية مرجعية سبق تحديدها.
٤ ـ التكبير.
٥ ـ التأخير الزمني.

وليس مجال هذا الكتاب شرح تـركيب تلك المكونـات ونظريـة عملهـا حيث أن هذا يحتاج إلى مجلد خاص نظراً للتنـوع الشديـد في كل وحـدة من الوحدات المذكورة. ويمكن الرجوع في ذلك إلى بعض المراجع المتخصصة في المرحلات الاستاتيكية وإلكترونيات القوى[1].

يبين الشكل ٥ ـ ١٦ المكونات الأساسية لمرحل تجاوز تيـار إستاتيكي.



شكل ٥ ـ ١٦ المكونات الأساسية لمرحل تجاوز تيار استاتيكي

(١) يمكن الرجوع للمرجعين رقم ٩، ١١.

يتم تحويل التيار المقاس من تيار متردد إلى جهد ثابت، حيث يتم بعد ذلك تغذية هذا الجهد إلى وحدة المقارنة والقياس التي تعمل حسب كمية التيار الداخل. عندما تقرر تلك الوحدة العمل فإن وحدة الزمن تحدد مدى الزمن الذي يتم بعده إعطاء إشارة الإعتاق إلى دائرة إعتاق قاطع الدائرة. يمكن بهذه الطريقة الحصول على مرحل تجاوز تيار بنفس خواص المرحلات الكهرومغناطيسية وبنفس إمكانيات الضبط من حيث الزمن أو التيار.

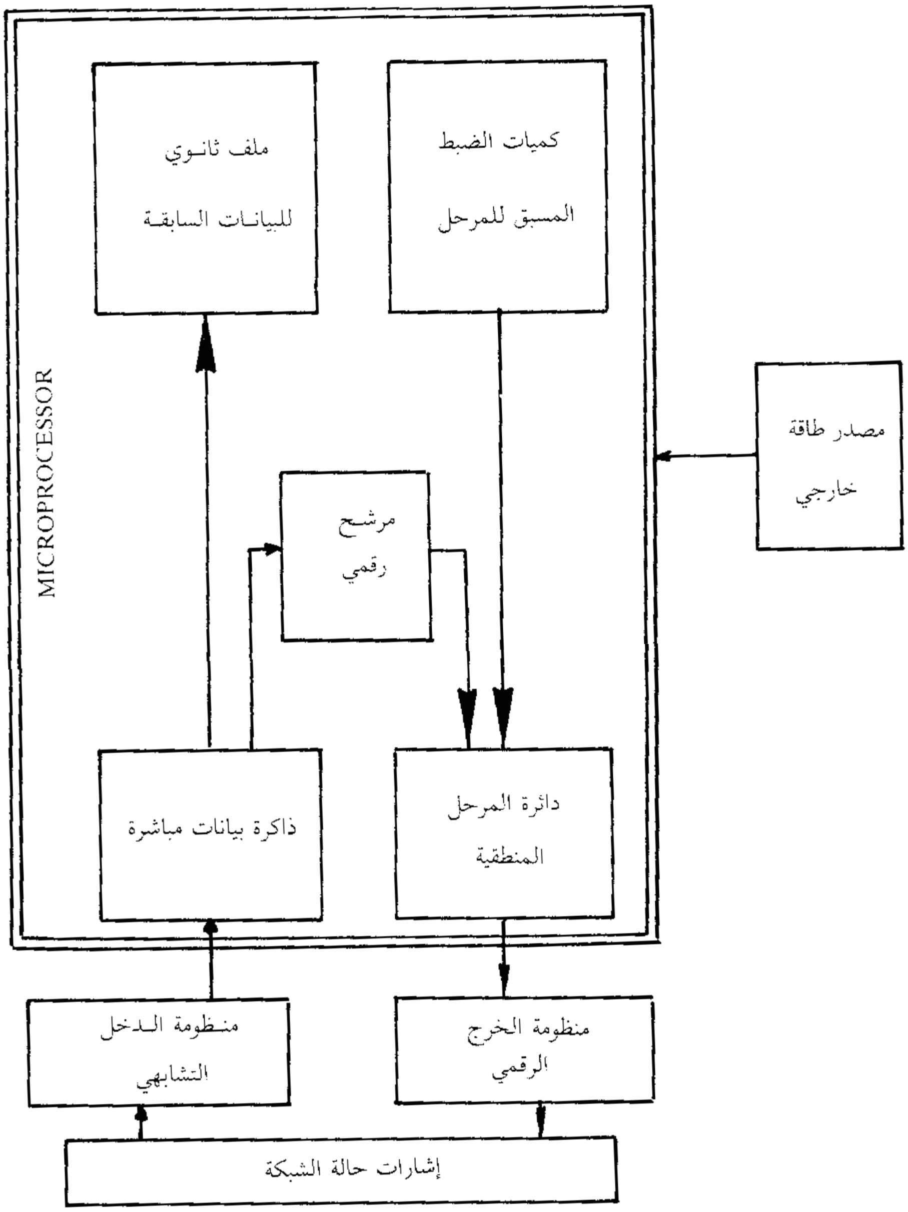
تتميز المرحلات الساكنة على المرحلات الكهرومغناطيسية بما يأتي:

١ ـ سرعة الأداء، حيث لا تحتوي على أجزاء متحركة وقصور ميكانيكي.
٢ ـ حساسية أعلى، وذلك بسبب استخدامها مكونات كهربية وإلكترونية يمكن التحكم في مدى حساسيتها بصورة أعلى بكثير من المكونات الميكانيكية.
٣ ـ لا تحتاج إلى صيانة.
٤ ـ ذات حجم أقل من المرحلات الكهروميكانيكية.

٥ ـ ٤ المرحلات الرقمية:

تعتمد المرحلات الرقمية في فكرتها على أن خرج المرحلات التشابهية الساكنة Static analog هو خرج رقمي Digital output، حيث أنها تعمل نوعاً من التغيير في حالة الدائرة (فتح أو قفل). وتبعاً لذلك فمن الممكن تحويل الدخل التشابهي Analog input إلى إشارات رقمية خلال إحدى الخطوات الداخلية في عمل المرحل.

يبين الشكل ٥ ـ ١٧ الهيكل العام لأي مرحل رقمي. يحتوي هذا الهيكل على الوحدات الرئيسية في المرحل. ومن الممكن أن يحتوي المرحل على وحدات أخرى تبعاً للغرض المطلوب. سوف نقدم فيما يلي خطوات عمل المرحل الرقمي تبعاً للهيكل العام المبين.



شكل ٥ ـ ١٧ الهيكل العام للمرحل الرقمي

١ ـ يتم إدخال حالة الشبكة المراد حمايتها إلى المرحل على هيئة إشارات تشابهية أو رقمية. تسحب تلك الإشارات من الشبكة، وتكون الإشارات التشابهية عبارة عن قياسات للجهد والتيار والمعاوقة وغير ذلك في الحالة المستقرة للشبكة على ترددها المقنن (٥٠ هرتز). ويعتمد عدد الإشارات المطلوبة على نوع المرحل.

نظراً لأن الكميات المسحوبة من الشبكة تكون عادة كميات عالية تقاس بالكيلو أمبير والكيلوڤولت فإنه يتم خفض تلك الكميات عن طريق آلة تحويل كمحول خفض مثلاً إلى القيم المناسبة للمرحل (في حدود ٥ أمبير و ٦٧ ڤولت للجهد الطوري). ويتم توهين تلك الكميات مرة أخرى إلى القيم التي يتحملها الكمبيوتر داخل المرحل، وهي في حدود ١٠ ڤولت على الأكثر ويجب في تلك المرحلة حماية الكمبيوتر من أي تجاوزات في الجهد يمكن أن تظهر على الأطراف الثانوية. يتم كل ما سبق داخل منظومة الدخل التشابهي المبينة بالشكل ٥ ـ ١٧.

٢ ـ يتم تجميع بيانات الدخل التشابهي باستمرار. ويعتمد معدل تجميع البيانات على أعلى تردد ممكن أن تكون عليه موجة تيار القصر وكذلك على الزمن المطلوب للحساب بواسطة الميكروبروسيسور (المسير الدقيق) أثناء فترات التجميع. ويتم إدخال البيانات إلى ذاكرة الكمبيوتر إما تحت سيطرة برنامج معد مسبقاً وإما في ذاكرة بيانات مباشرة. ويتم في كلتا الحالتين حفظ البيانات في ذاكرة الكمبيوتر المتطايرة RAM. كما توجد مرحلات يتم فيها حفظ تلك البيانات داخل ملف ثانوي للبيانات السابقة للاستفادة بها فيما بعد.

٣ ـ يقوم المرشح الرقمي بتخليص البيانات من أي تشويهات Distortions أو ضوضاء Noise تكون قد دخلت عليها إما من الشبكة وإما من المحول التشابهي الرقمي ذاته. وللحصول على نتائج دقيقة يقوم المرشح الرقمي بفصل الإشارة المطلوبة عن باقي إشارات الضوضاء.

٤ ـ يحدد برنامج الدائرة المنطقية للمرحل طريقة أداء المرحل، حيث يتم المقارنة بين كميات الدخل وكميات الضبط المسبق.

٥ ـ من الأفضل ألا يعتمد المرحل على مصدر طاقة من الشبكة، وإنما يكون له مصدر طاقة خاص به عبارة عن بطارية وشاحن وبعض التجهيزات الأخرى.

٦ ـ يرسل برنامج الدائرة المنطقية بيانات الخرج إلى منظومة الخرج الرقمي، والتي تعطي بدورها إشارة التحكم إلى أجهزة الحماية الأخرى كدوائر الإعتاق وقواطع الدائرة.

يمكن تلخيص مميزات المرحلات الرقمية فيما يأتي:

١ ـ الاقتصاد:

رغم أن تكاليف المرحلات الرقمية ما زالت مرتفعة، إلا أن الاتجاه هو دائماً نحو انخفاض تلك التكاليف بسبب التطور العلمي والتكنولوجي المستمر. وعلى خلاف ذلك فإن اتجاه تكاليف الحماية التقليدية في ارتفاع دائم. وهذا يشير إلى أنه سوف يأتي الوقت الذي تكون فيه تكاليف الحماية الرقمية أقل بصورة مطلقة من تكاليف الحماية التقليدية. هذا بالإضافة إلى أن المرحل الرقمي يمكنه أن يقوم ببعض الأعمال الأخرى كالقياس والتحكم دون زيادة في التكاليف.

٢ ـ الأداء:

تقوم المرحلات الرقمية الآن بجميع الوظائف التي تقوم بها المرحلات الكهرومغناطيسية وذلك بصورة لا تقل عنها. هذا علاوة على الدقة الفائقة للمرحلات الرقمية بالمقارنة بالمرحلات التقليدية.

٣ ـ الوثوق:

الوثوق Reliability هو إحدى المميزات الكبرى للمرحلات الرقمية. إن المرحلات الرقمية بطبيعتها في حالة عمل دائم، وذلك على عكس المرحلات الكهرومغناطيسية التي تكون في حالة خمول إلى حين حدوث الخطأ. وبهذا

فإن التعرف على أي عيب أو عطل في المرحل الرقمي يمكن اكتشافه مباشرة وليس عندما يفشل في العمل عند حدوث الخطأ.

٤ ـ المرونــة:

نظراً لأن المرحلات الرقمية تعتمد على برمجتها، فإنه من الممكن إعادة ضبط الأداء أو تغيير العمل بها بسهولة من خلال تغيير دائرة البرمجة لها. يساعد على ذلك أن دوائر التحكم والبرمجة هي دوائر نمطية منتشرة الاستعمال ومتكررة في العديد من الكمبيوتر.

٥ ـ التفاعل مع الشبكة:

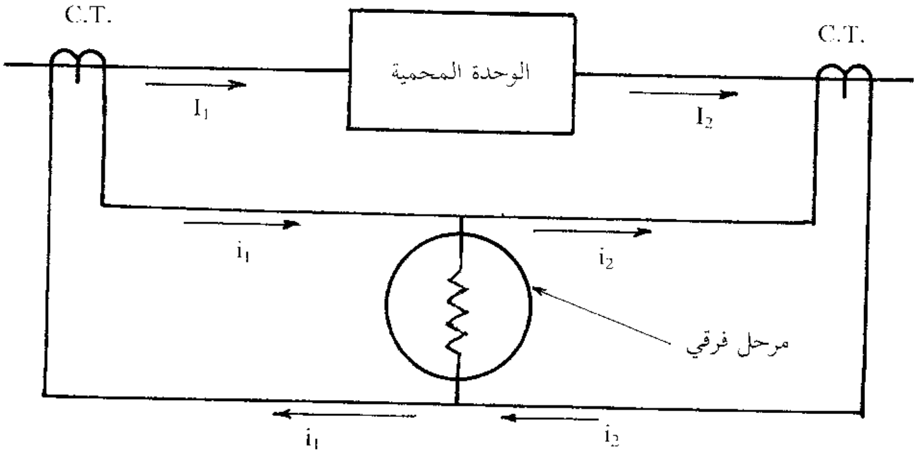
يمكن للمرحلات الرقمية أن تقوم ببعض الأعمال الأخرى المتصلة بالشبكة كعمليات الاتصال وتبادل المعلومات مع المحطات البعيدة الأخرى. كما يمكن للمرحل أن يقوم ببعض عمليات التحليل والحسابات الخاصة بالشبكة في نفس الوقت.

٥ ـ ٥ استخدامات مرحلات تجاوز التيار:

يمكن عن طريق إجراء تعديلات معينة في تصميم مرحل تجاوز التيار أو في طريقة ضبطه وتوصيله استخدامه لأغراض مختلفة نذكر منها ما يأتي:

٥ ـ ٥ ـ ١ الحماية الفرقية:

تعتمد الحماية الفرقية Differential protection على تغذية المرحل بتيارين من محولي تيار بحيث يكون مجموع التيارين الداخلين إلى ملف المرحل مساوياً للصفر كما هو مبين في الشكل ٥ ـ ١٨. يحدد موضعا المحولين المنطقة التي يتم حمايتها ويسمى هذا النوع من الحماية بحماية الوحدة Unit protection. عند حدوث أي قصر دائرة في المنطقة المحمية يختلف التياران i_1 و i_2 عن بعضهما. ويمكن ضبط المرحل بحيث يعمل إذا زاد هذا الاختلاف عن حد معين. تحتاج الحماية الفرقية إلى دقة في الضبط وكذلك أخذ عدة عوامل في الاعتبار. وسوف نناقش هذا النوع من الحماية بالتفصيل في الباب السادس.



شكل ٥ ـ ١٨ الحماية الفرقية

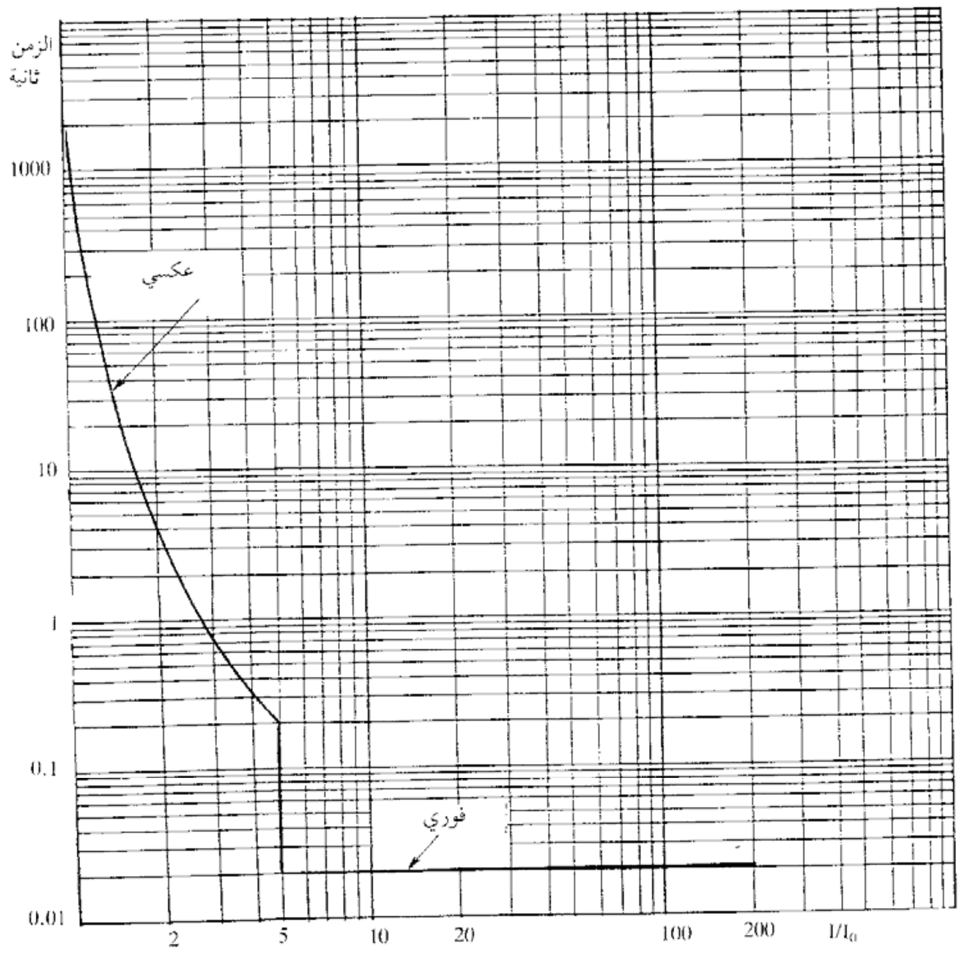
٥ ـ ٥ ـ ٢ حماية تجاوز الحمل:

يمكن بناء مرحل تجاوز تيار بحيث يكون له منحنى خصائصي كالمبين بالشكل ٥ ـ ١٩ . يفيد هذا المرحل في حماية تجاوز الحمل Overload للمحركات بالإضافة إلى الحماية من قصر الدائرة. يتم ضبط قيمة لقط المرحل لتجاوز الحمل على مقنن تيار الحمل الكامل، ويتم ضبط قيمة لقط التيار اللحظي على قيمة أعلى من قيمة تيار بدء المحرك. يمكن بهذه الطريقة تحقيق ما يأتي:

١ ـ حماية ضد تجاوز الحمل.

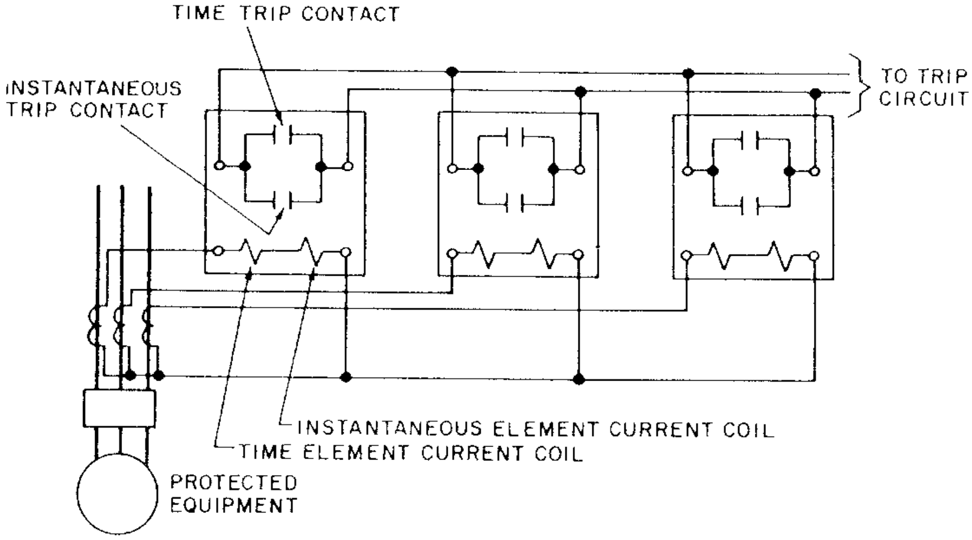
٢ ـ حماية ضد قصر الدائرة.

٣ ـ وجود تأخير زمني يكفي لعدم تشغيل المرحل بسبب تيار بدء المحرك العابر.



شكل ٥ ـ ١٩ مرحل ذو علاقة عكسية بقيمة صغرى محددة للزمن

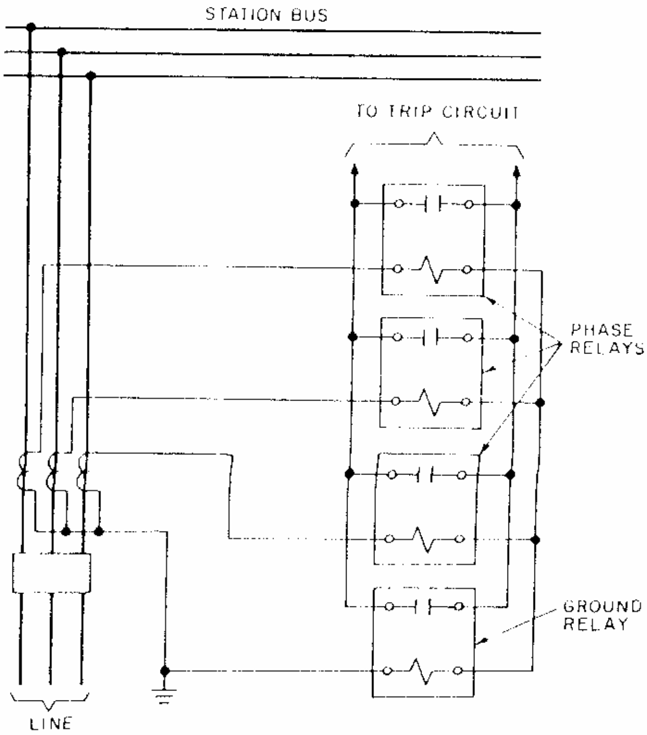
يمكن الحصول على مثل هذا النوع من المرحلات إما باستخدام عنصرين أحدهما ذو تأخير زمني والآخر فوري كما هو مبين بالشكل ٥ ـ ٢٠، وإما باستخدام ظاهرة التشبع المغناطيسي في دائرة المغناطيس الكهربي للحصول على منحنى خصائصي له قيمة صغرى محددة للزمن.



شكل ٥ ـ ٢٠ مرحل بعنصر تأخير زمني وعنصر فوري

٥ ـ ٥ ـ ٣ الحماية من الخطأ الأرضي:

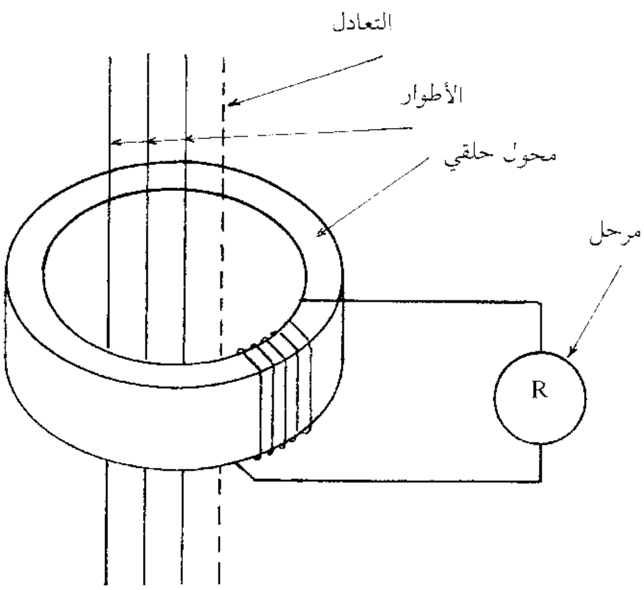
يتم عادة استعمال مرحل تجاوز التيار كمرحل حماية من الخطأ الأرضي Ground-fault مع مرحلات تجاوز التيار. يبين الشكل ٥ ـ ٢١ هذه الفكرة، حيث يمر في المرحل الأرضي مجموع التيارات من الأطوار الثلاثة. يتم ضبط المرحل الأرضي على نسبة من تيار الحمل الكامل (أقل من الواحد الصحيح)، حيث أن الحالة المثالية هو عدم مرور تيار بالمرة في هذا المرحل. عند حدوث خطأ أرضي فإن مجموع تيارات الأطوار الثلاثة لا يساوي الصفر مما يسبب



شكل ٥ ـ ٢١ حماية تجاوز تيار + حماية خطأ أرضي

تشغيل المرحل الأرضي. نلاحظ هنا أنه ليس من المؤكد في حالة الخطأ الأرضي أن تعمل مرحلات الأطوار.

يكثر استعمال نوع معين من الحماية الأرضية في شبكات الجهد المنخفض تستخدم محولاً خاصاً يعرف باسم محول اتزان القلب Core-balance Transformer. يبين الشكل ٥ ـ ٢٢ المبدأ الأساسي الذي يعمل عليه هذا المحول. تمر جميع الموصلات بما فيها موصل التعادل عبر قلب حلقي Toroid. تحت ظروف التشغيل المشتملة على الحالات المتزنة وغير المتزنة وحالات القصر بين الأطوار فإن مجموع التيارات الخارجة من القلب تكون دائماً مساوية لمجموع التيارات الداخلة إليه. أي أن محصلة الفيض المغناطيسي في



شكل ٥ ـ ٢٢ حماية أرضية بمحول اتزان القلب

القلب يساوي الصفر وبذلك لا يمر أي تيار في المرحل. وعند حدوث خطأ أرضي فإن التيار الذي يمر بالأرض لا يرجع عن طريق الموصلات المارة عبر قلب المحول، وبذلك يتناسب الفيض المغناطيسي في القلب مع التيار المار في الأرض. ويولد هذا الفيض تياراً في دائرة مرحل الأرضي. يمتاز هذا النوع من الحماية الأرضية بحساسية عالية بحيث يمكنه أن يكتشف تيارات صغيرة في حدود المللي أمبير. أما المرحل نفسه فيمكن ضبطه بالنسبة لزمن التشغيل وكذلك بالنسبة لتيار التشغيل. ومن الممكن استعمال مرحل من النوع التقليدي أو من النوع الإلكتروني. كما يمكن استعمال هذا النوع من الحماية في قواطع الإعتاق المباشر، كما يستعمل في حماية الأفراد من الصدمات الكهربية نظراً لحساسيته الفائقة.

حماية المحولات

٦ ـ ١ مقدمة:

رغم أن الأخطاء التي يتعرض لها المحول تُعتبر قليلة بالنسبة لباقي مكونات الشبكة، إلا أن بعض تلك الأخطاء قد تكون من الشدة بحيث تتسبب في حدوث أخطار جسيمة سواء على المحول نفسه أو على باقي أجزاء الشبكة إذا لم يتم فصل الخطأ في الوقت المناسب. ويمكن القول بصفة عامة أن نظام الحماية السليم أمر حيوي بالنسبة للمحول ولشبكة التغذية وكذلك بالنسبة للأحمال.

تختلف متطلبات الحماية للمحول تبعاً لعوامل عديدة نذكر منها ما يلي:

١ ـ مقنن المحول، فكلما زاد مقنن المحول كلما كانت متطلبات الحماية أكثر.

٢ ـ نوع العازل، فالمحولات المغمورة في الزيت أو أي سائل آخر تتطلب حماية أكثر من المحولات الجافة.

٣ ـ نوع المحول، محولات القوى أكبر بصفة عامة وأكثر تعقيداً من محولات التوزيع. وهي تحتاج إلى أنواع من الحماية قد لا يتطلبها محول توزيع صغير أو متوسط.

٤ ـ نوع التوصيل والملفات، يجب مراعاة طريقة توصيل المحول (دلتا أو نجمة أو غيرها) عند وضع خطة الحماية.

٥ ـ دورة الحمل وأهمية الأحمال، هناك من الأحمال ما يحتمل قطع التغذية عنه لفترات معينة، كما توجد أحمال أخرى لا تحتمل قطع التغذية عنها.

يجب أن يكون المهندس على دراية كاملة بالأخطاء والحالات الشاذة التي يمكن أن يتعرض لها المحول لكي يتمكن من وضع خطة حماية سليمة للمحول بحيث تتمشى مع باقي خطة الحماية للشبكة وكذلك اعتبارات التحميل وأنواع الأحمال والمتطلبات الأخرى. وكما هي الحال في جميع خطط الحماية، فلا توجد خطة بعينها يمكن اتباعها تماماً، ولذلك فسوف نقدم هذا الباب بصورة شاملة بحيث يمكن اختيار خطة الحماية حسب الظروف والاعتبارات الهندسية والاقتصادية.

من المحتمل أن يتعرض المحول للحالات الشاذة الآتية:

١ ـ حالة تجاوز الحمل Overloading.

٢ ـ حالات قصر الدائرة Short circuit.

٣ ـ حالات تمور الجهد Voltage surges.

٤ ـ الحالات المرتبطة بحدوث عيب في وسط العازل والتبريد (الزيت والسوائل الأخرى).

٥ ـ الحالات المرتبطة بالمتطلبات الميكانيكية.

٦ ـ ٢ تجاوز الحمل:

تسمح جميع المواصفات المعمول بها بتجاوز الحمل المقنن للمحول لفترة زمنية محدودة تعتمد على الحمل الإبتدائي الذي كان عليه المحول قبل تجاوز الحمل مباشرة وعلى نسبة تجاوز الحمل ودرجة حرارة وسط التبريد، هذا بالإضافة إلى أقصى درجة حرارة مسموح بها لملفات المحول. ويجب ملاحظة أنه إذا زادت درجات حرارة الملفات عن أقصى قيمة مسموح بها فإن ذلك يؤثر على العمر الافتراضي للمحول ما لم يتم تعويض تجاوز الحمل الذي تعرض له المحول بفترات من الحمل الخفيف. كما يجب التأكد قبل السماح بتجاوز الحمل من أن جميع أجزاء المحول لن تتأثر بهذا التجاوز.

تعطي مصانع المحولات عادة دليلاً لتجاوز الحمل على المحول في شكل جدول يعرف بإسم دليل التحميل. ويجب طلب هذا الجدول من صانع المحول، حيث من الأفضل استعمال الجدول الخاص بكل محول بعينه. يمكن في حالة غياب تلك الجداول استعمال الجداول من ٦ ـ ١ إلى ٦ ـ ٥ وهي تتبع المواصفات الألمانية كما أنها تقترب من مواصفات اللجنة الدولية الكهروتقنية (IEC) والمواصفات البريطانية (CP1010) إلى حد كبير. نلاحظ في تلك الجداول أن:

K_1: نسبة التحميل قبل تجاوز الحمل إلى مقنن الحمل الكامل.

K_2: نسبة التحميل بعد تجاوز الحمل إلى مقنن الحمل الكامل.

جدول ٦ ـ ١ تجاوز الحمل المسموح للمحولات المبردة بالسائل
(درجة حرارة الوسط ١٠° م)

K_2 \ K_1 =	١,٠	٠,٩	٠,٨	٠,٧	٠,٥	٠,٢٥
	فترة تجاوز الحمل (دقيقة)					
١,١	فترة زمنية غير محدودة (مستمر)					
١,٢	٤٦١	٥٧٢	٦٢٥	٦٥٨	٧٠٠	٧٢٩
١,٣	٢٣٠	٢٩٦	٣٣٣	٣٥٨	٣٩٢	٤١٧
١,٤	١٣٩	١٨٤	٢١١	٢٣١	٢٦٠	٢٨٢
١,٥	٩٢	١٢٤	١٤٥	١٦٢	١٣٧	٢٠٦
١,٦	٦٤	٨٣	١٠٥	١١٩	١٤٠	١٥٨
١,٨	٣٥	٤٨	٥٩	٦٨	٨٤	٩٨
٢	٢١	٢٨	٣٥	٤٢	٥٣	٦٣

جدول ٦ ـ ٢ تجاوز الحمل للمحولات المبردة بالسائل
(درجة حرارة الوسط ٢٠° م)

K_2 \ $K_1 =$	٠,٩	٠,٨	٠,٧	٠,٥	٠,٢٥
	فترة تجاوز الحمل (دقيقة)				
١,١	٤٩٢	٦٠٥	٦٥٩	٧١٥	٧٥٠
١,٢	٢٤٦	٣١٣	٣٥٠	٣٩٤	٤٢٣
١,٣	١٤٩	١٩١	٢٢١	٢٥٦	٢٨٢
١,٤	٩٨	١٣١	١٥٢	١٨٢	٢٠٤
١,٥	٦٨	٩٣	١١٠	١٣٥	١٥٤
١,٦	٥٠	٦٨	٨٢	١٠٣	١١٩
١,٨	٢٩	٣٩	٤٨	٦٢	٧٥
٢	١٨	٢٢	٢٧	٣٨	٤٨

جدول ٦ ـ ٣ تجاوز الحمل للمحولات المبردة بالسائل
(درجة حرارة الوسط ٣٠° م)

K_2 \ $K_1 =$	٠,٩	٠,٨	٠,٧	٠,٥	٠,٢٥
	فترة تجاوز الحمل (دقيقة)				
١,١	—	٢٤٩	٣٢٠	٣٨٣	٤١٩
١,٢	—	١٥٢	١٩٩	٢٤٦	٢٧٦
١,٣	—	١٠١	١٣٥	١٧٢	١٩٨
١,٤	—	٧١	٩٦	١٢٦	١٤٦
١,٥	—	٥١	٧٠	٩٥	١١٤
١,٦	—	٣٩	٥٣	٧٢	٨٩
١,٨	—	٢٥	٣٢	٤٤	٥٦
٢	—	١٥	١٨	٢٦	٣٤

جدول ٦ ـ ٤ تجاوز الحمل للمحولات المبردة بالسائل
(درجة حرارة الوسط ٤٠° م)

K_2 \ $K_1 =$	٠,٩	٠,٨	٠,٧	٠,٥	٠,٢٥
	فترة تجاوز الحمل (دقيقة)				
١,١	—	—	١٤٧	٢٢٥	٢٦٣
١,٢	—	—	٩٨	١٥٦	١٨٧
١,٣	—	—	٦٩	١١٢	١٣٩
١,٤	—	—	٥١	٨٤	١٠٥
١,٥	—	—	٣٨	٦٤	٨١
١,٦	—	—	٣٠	٤٩	٦٤
١,٨	—	—	١٩	٢٩	٤٠
٢	—	—	١٣	١٨	٢٤

جدول ٦ ـ ٥ فترات تجاوز الحمل للمحولات الجافة

التحميل السابق	تجاوز الحمل ٪ من مقنن المحول				
	١٠	٢٠	٣٠	٤٠	٥٠
٪ من الحمل المقنن	فترة تجاوز الحمل (دقيقة)				
٥٠	٦٠	٣٠	٢٠	١٥	١٢
٧٥	٥٥	٢٣	١٥	١١	٩
٩٠	٤٥	١٦	١٠	٧	٥

يجب عند وضع خطة الحماية مراعاة الجداول الخاصة بتجاوز الحمل وذلك بعد أخذ خطة التحميل في الاعتبار. ويجب تغيير ضبط أجهزة الحماية تبعاً للفترات المسموح بها تجاوز الحمل على المحول.

يمكن الحماية من تجاوز الحمل كما يأتي:

أولاً : تشغيل قاطع الدائرة الخاص بالمحول بواسطة وحدة إعتاق مباشر أو غير مباشر بحيث يكون له منحنى زمن ـ تيار يحتوي على حماية تجاوز الحمل (تأخير زمني طويل)، ويتم اختيار وضبط حماية تجاوز الحمل تبعاً للجداول السابقة. نلاحظ في تلك الطريقة أن نظام الحماية ليس له اتصال مباشر بالمحول، وإنما يعمل تبعاً للتيار المار فيه.

ثانياً : استعمال أجهزة حساسة لدرجة الحرارة يتم تركيبها في المحول حيث يمكنها أن تقوم بواحدة أو أكثر من الوظائف الآتية:

١ ـ إعطاء بيان عن درجة حرارة المحول (الملفات ووسط التبريد).
٢ ـ إعطاء تحذير (جرس مثلاً) عندما ترتفع درجة الحرارة عن حد معين داخل المحول.
٣ ـ تشغيل وحدة التبريد القسري في المحول Forced cooling في حالة وجودها.
٤ ـ تشغيل دائرة إعتاق قاطع الدائرة الخاص بالمحول إذا تجاوزت درجة الحرارة الحدود المسموح بها.

هذه الأجهزة كثيرة ومتنوعة، نذكر منها باختصار ما يأتي:

١ ـ ترمومتر بسيط.
٢ ـ ترمومتر بملامسات.
٣ ـ مرحل حراري Thermal relay.
٤ ـ جهاز تحديد البقعة الساخنة Hot-spot temperature device.
٥ ـ مرحل البوخولز.

ويجب على المهندس تحديد ما يراه مناسباً لظروف التشغيل والحماية

بحيث يتوافق هذا مع أهمية الأحمال والاعتبارات الاقتصادية.

تجدر الإشارة هنا إلى بعض المهندسين يفضلون الالتجاء في بعض الأحيان إلى فصل بعض الأحمال غير الهامة في فترات تجاوز الحمل، وذلك عندما يكون العامل الاقتصادي له تأثير حاسم في أخذ القرار.

٦ ـ ٣ قصر الدائرة:

قصر الدائرة هو أخطر الحالات الشاذة التي يتعرض لها المحول على الإطلاق وأكثرها حدوثاً. فمن الممكن أن يتعرض المحول إلى أنواع عديدة ومختلفة من قصر الدائرة كما يأتي:

١ ـ خطأ أرضي على جانب أطراف الجهد العالي.

٢ ـ خطأ وجه ـ وجه (Phase to phase) على جانب أطراف الجهد العالي.

٣ ـ خطأ أرضي داخلي على ملفات الجهد العالي.

٤ ـ خطأ وجه ـ وجه داخلي على ملفات الجهد العالي.

٥ ـ قصر دائرة بين ملفات الجهد العالي.

٦ ـ خطأ أرضي على جانب أطراف الجهد المنخفض.

٧ ـ خطأ وجه ـ وجه على جانب أطراف الجهد المنخفض.

٨ ـ خطأ أرضي داخلي على ملفات الجهد المنخفض.

٩ ـ خطأ وجه ـ وجه داخلي بين ملفات الجهد المنخفض.

١٠ ـ قصر دائرة بين ملفات الجهد المنخفض.

١١ ـ خطأ أرضي على الملف الثالث (Tertiary winding).

١٢ ـ قصر دائرة بين ملفات الملف الثالث.

١٣ ـ خطأ وجه ـ وجه خارجي.

١٤ ـ خطأ أرضي خارجي.

رغم التعدد الكبير في أنواع الأخطاء التي قد يتعرض لها المحول، إلا أن كل هذه الأخطاء يتم الحماية منها بثلاثة أنواع رئيسية من الحماية هي:

١ ـ حماية تجاوز التيار Overcurrent protection .

٢ ـ الحماية الفرقية Differential protection .

٣ ـ حماية الخطأ الأرضي Earth fault protection .

والأجهزة المستعملة في الحماية هي أجهزة الحماية والقطع المذكورة في الأبواب السابقة بأنواعها المختلفة (مصهرات ـ قواطع دائرة ـ مرحلات).

٦ ـ ٣ ـ ١ حماية تجاوز التيار

إن القاعدة العامة في وضع نظام حماية المحول من قصر الدائرة هي أنه بعد وضع الخطة الكاملة لحماية المحول يكون قد تم تغطية جميع احتمالات قصر الدائرة بصورة مقبولة. تساهم حماية تجاوز التيار في الخطة العامة لعملية حماية المحول. وكما ذكرنا في مواضع عديدة من قبل أن وضع خطة الحماية هي عملية تعتمد على الخبرة بنفس القدر الذي تعتمد فيه على الحسابات والتحليل. معنى هذا أنه لا بد أن يكون لدى المهندس المسئول عن وضع خطة الحماية خبرة كافية في هذا المجال. ويمكن بطبيعة الحال الاسترشاد بإحدى الخبرات أو الشروط الوطنية أو العالمية المعترف بها في هذا المجال مع الأخذ في الاعتبار الحالة الخاصة التي يكون المهندس بصددها.

نذكر في هذا المجال متطلبات حماية تجاوز التيار للمحولات تبعاً للكود الأمريكي وذلك كحد أدنى من المتطلبات (NEC - 450 1993).

يتم إجراء حماية المحول إما باستخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط (الجهد العالي عادة) وإما باستخدام حماية على الجانب الابتدائي والجانب الثانوي.

أولاً : عند استخدام حماية على الجانب الابتدائي فقط يُراعي ما يأتي:

١ ـ للمحولات التي يزيد جهد أحد جانبيها عن ٦٠٠ ڤولت يمكن الحماية بإحدى الطريقتين الآتيتين:

أ ـ استخدام مصهر بمقنن لا يزيد عن ٢٥٠٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي. ويشترط في هذا المصهر أن يتحمل ٢٠٠٪ من هذا

التيار بصفة دائمة (الرتبة F في المواصفات الأمريكية). هذا النوع من المصهرات يعرف بإسم مصهرات الخدمة العامة أو مصهرات الحماية الثانوية، وهو مصمم لكي ينصهر بعد حوالي ٦٠٠ ثانية عند حوالي ٢٢٠٪ من مقنن التيار له.

ii - استخدام قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ٣٠٠٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول، أو استخدام مصهر عادي لا يزيد مقننه عن ٣٠٠٪ أيضاً.

٢ ـ للمحولات التي لا يزيد الجهد على جانبيها عن ٦٠٠ ڤولت يتم استخدام مصهر بمقنن تيار ـ أو قاطع دائرة بمقنن تيار لقط ـ يساوي ١٢٥٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول. هذا بشرط أن تكون قدرة حمل التيار للكابل المغذي للمحول تساوي ١٢٥٪ أيضاً من تيار الحمل الكامل. ويمكن في تلك الحال وضع الحماية عند طرف كابل التغذية من ناحية المصدر بحيث تصبح تلك الحماية كافية لكل من المحول والكابل مهما كان طول هذا الكابل.

ثانياً : عند استخدام حماية على كل من الجانب الابتدائي والجانب الثانوي :

يتم في تلك الحال اتباع التعليمات الواردة في الجدول ٦ ـ ٦.

جدول ٦ ـ ٦ أقصى مقنن لجهاز حماية تجاوز التيار (نسبة مئوية)

معاوقة المحول على الحمل المقنن	الابتدائي		الثانوي		
	أعلى من ٦٠٠ ڤولت		أعلى من ٦٠٠ ڤولت		٦٠٠ ڤولت أو أقل
	ضبط قاطع الدائرة	مقنن المصهر	ضبط قاطع الدائرة	مقنن المصهر	ضبط قاطع الدائرة أو مقنن المصهر
لا تزيد عن ٦٪	٦٠٠	٣٠٠	٣٠٠	١٥٠	٢٥٠
أعلى من ٦٪ وحتى ١٠٪	٤٠٠	٢٠٠	٢٥٠	١٢٥	٢٥٠

ويمكن في جميع الحالات المذكورة في أولاً وثانياً استخدام مقنن جهاز الحماية الأكبر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط.

ثالثاً: للمحولات الصغيرة يمكن اتباع ما يأتي:

١ ـ إذا كان تيار الجانب الابتدائي المقنن للمحول أقل من ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ٣٠٠٪ من تيار الحمل الكامل.

٢ ـ إذا كان تيار الجانب الابتدائي أقل من ٩ أمبير وحتى ٢ أمبير يستخدم مصهر بمقنن أو قاطع دائرة بمقنن لقط لا يزيد عن ١٦٧٪ من تيار الحمل الكامل.

وفي كلتا الحالتين يستخدم المقنن الأصغر مباشرة في حالة عدم وجود المقنن المطلوب بالضبط.

يجب أن يكون لدى أجهزة الحماية على الجانب الابتدائي القدرة على عمل ما يأتي:

١ ـ تحمل تيار المغنطة المندفع للمحول:

تيار المغنطة المندفع Magnetising inrush current هو من الظواهر الموجودة في جميع المحولات، ويكون وجودها أكثر وضوحاً في المحولات الحديثة بسبب قدرة قلب تلك المحولات على الاحتفاظ بالمغناطيسية المتبقية Residual magnetism بصورة أكبر من المحولات القديمة. تحدث هذه الظاهرة عند إعادة توصيل المحول من جانبه الابتدائي على مصدر التغذية. وتكون على شكل تيار لا حملي No-load current ذي قيمة عالية تتراوح عادة من ٨ إلى ١٢ ضعفاً من تيار الحمل الكامل المقنن للمحول. ويستمر هذا التيار لفترة عابرة تؤخذ عادة ١,٠ ثانية في أغراض الحماية. يؤخذ الرقم ٨ للمحولات حتى مقنن ١٠٠٠ ك.ف.أ، والرقم ١٢ للمحولات الأكبر من ذلك. ويحتوي هذا التيار على موجة بالتردد الأساسي (٥٠ هرتز) وعلى موجات أخرى على جميع التوافقيات الزوجية والفردية مع وضوح التوافقية الثانية التي هي خاصية مميزة لهذا التيار. كما يحتوي على مركبة تيار ثابت.

عند إجراء عملية الحماية على المحول يتم توقيع النقطة المناظرة لتيار المغنطة المندفع على خريطة الزمن ـ التيار. ويجب أن يكون منحنى جهاز حماية الجانب الابتدائي فوق هذه النقطة حتى لا تتسبب في تشغيله.

٢ ـ فصل القصر الأرضي المباشر الحادث على الجانب الثانوي قبل تلف المحول:

يتم عادة تصميم المحولات بحيث تتحمل الاجهادات الداخلية الناتجة من قصر الدائرة على الأطراف الخارجية لفترات محددة يجب معرفتها من الصانع. تنص المواصفة (IEEE std 462)على الحد الأقصى لتلك الفترات كما هو موضح بالجدول ٦ ـ ٧. لاحظ في هذا الجدول أن مضاعفات التيار قد تم الحصول عليها من قسمة (١ ÷ معاوقة المحول بالوحدة)، وهي قاعدة يمكن اتباعها دائماً على فرض أن معاوقة المحول هي المعاوقة الوحيدة في الدائرة التي تحد من قيمة تيار القصر. تعرف هذه النقطة أحياناً بإسم (ANSI point).

جدول ٦ ـ ٧ تحمل المحولات لتيار قصر على أطرافه

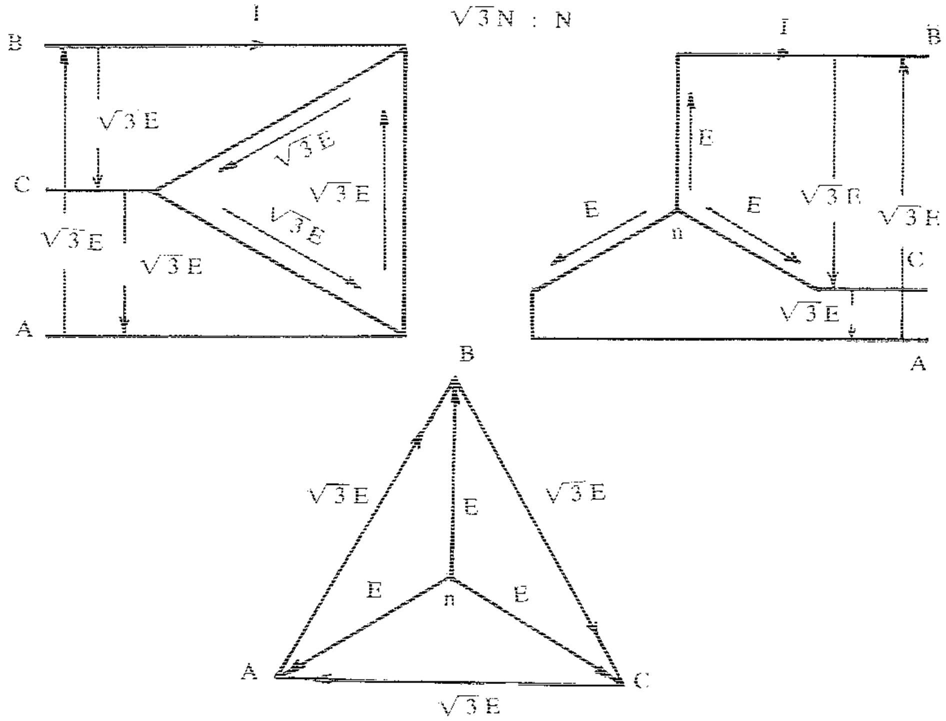
معاوقة المحول ٪	اقصى تحمل (مضاعفات التيار المقنن)	زمن القصر ثانية
٤ وأقل	٢٥	٢
٥	٢٠	٣
٥, ٥	١٨,٢	٣, ٥
٥,٧٥	١٧,٤	٣,٧٥
٦	١٦,٦	٤
٧ وأكثر	١٤,٤	٥

ولتيارات القصر التي تزيد عن حوالي (٤٠٠ ـ ٦٠٠٪) من تيار الحمل الكامل فيمكن الحصول على قدرة تحمل المحول بتقريب متحفظ ولكن مقبول عن طريق رسم خاصية الكمية I^2t. يتم ذلك برسم خط مستقيم ميله = − ٢ ويمتد حتى النقطة المناظرة في الجدول ٦ ـ ٧.

لإجراء الحماية السليمة يجب أن يكون الخط السابق المناظر لخاصية تلف المحول من تيارات القصر أعلى بأكمله من منحنى الزمن ـ التيار لجهاز الحماية من القصر.

٣ ـ أن يراعي طريقة توصيل المحول:

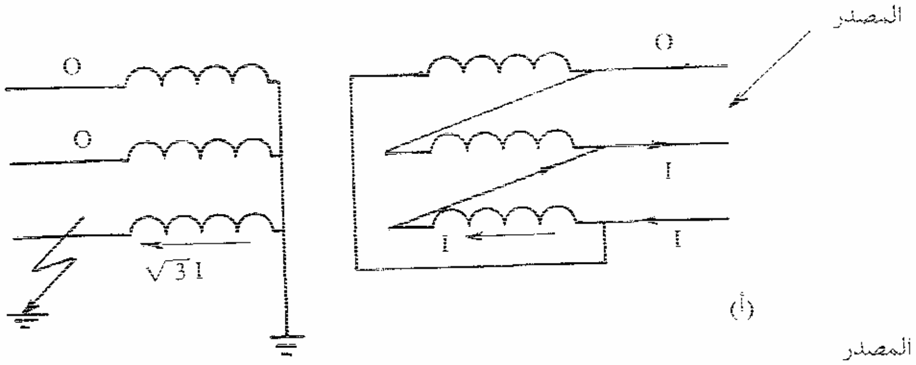
من المعروف أن المحول يعمل تبعاً لقاعدة تساوي القوة الدافعة المنغاطيسية (الأمبير ـ لفة) في الملفين الابتدائي والثانوي. وعلى ذلك فإن هذه القاعدة قائمة أيضاً عند حدوث قصر في أي مكان على المحول. وباعتبار محول ذي نسبة تحويل مقداره الوحدة (الجهود الخطية متساوية على جانبي المحول) وموصل على شكل دلتا ـ نجمة فإن عدد ملفات الدلتا يكون $\sqrt{3}$ من عدد ملفات النجمة للحصول على نفس تيار الخط ونفس جهد الخط على الجانبين. بهذه الطريقة يكون التياران متساويين في الخطوط على جانبي المحول في حالة التشغيل المتماثل كما هو مبين بالشكل ٦ ـ ١.

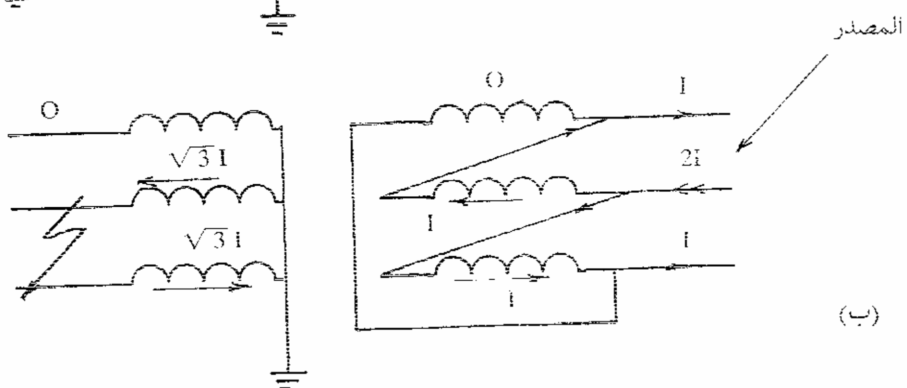


شكل ٦ ـ ١ العلاقة بين جهود الطور وجهود الوجه في محول دلتا ـ نجمة

عند حدوث قصر دائرة فإن التيارات في ملفات المحول على الجانبين يجب أن تأخذ قيماً بحيث تتمشى مع قاعدة تساوي الأمبير ـ لفة في كل طور على حدة. يمكن ـ تبعاً لما سبق ـ مراجعة مسارات التيارات لحالات التوصيلات والقصر المختلفة المبينة بالشكل ٦ ـ ٢.

نعود الآن إلى الحماية على الجانب الابتدائي للمحول. فعلى اعتبار أن محولات التوزيع تكون عادة محولات دلتا على الجانب الابتدائي ونجمة على الجانب الثانوي (شكل ٦ ـ ٢ ـ أ) فإن النسبة بين تيار قصر الجانب الابتدائي إلى تيار قصر الجانب الثانوي هي ١ : $\sqrt{٣}$ ، أي ٠,٥٨ وعلى ذلك فيجب خفض قيمة تيار القصر المستخرجة من الجدول ٦ ـ ٧ بنسبة ٥٨٪ لأخذ طريقة التوصيل في الاعتبار.





شكل ٦ ـ ٢ مسارات تيارات القصر في محول دلتا ـ نجمة (نسبة التحويل الطوري دلتا $\sqrt{٣}$: نجمة ١)

٦ ـ ٣ ـ ٢ الحماية الفرقية:

ذكرنا في البند ٥ ـ ٥ ـ ١ أن مرحل تجاوز التيار يتم استعماله للحماية الفرقية، كما أوضحنا أن فكرة عمل هذه الحماية هي تغذية المرحل بتيارين متساويين ـ للحالة المثالية ـ من محولي تيار كما هو مبين بالشكل ٥ ـ ١٨. وتكون المنطقة المحمية هي المنطقة المحصورة بين محولي التيار، بحيث إذا حدث قصر دائرة خارج هذه المنطقة فإن الحماية الفرقية لا تشعر به. أما إذا حدث أي قصر من أي نوع داخل منطقة الحماية فإن ذلك يؤدي إلى اختلاف في قيمتي i_1 و i_2 مما يسبب إثارة المرحل. إذا زاد هذا الفرق عن حد معين يبدأ المرحل في العمل. هذه هي النظرية الأساسية من وجهة النظر المثالية، أما في الحالة الواقعية فإن الحماية الفرقية ترتبط دائماً بعدة مشاكل ستتبين لنا حالاً في هذا البند.

تحتاج جميع المحولات التي يتجاوز مقننها ١٠٠٠ ك.ف.أ إلى حماية فرقية وذلك باتفاق تام بين جميع الخبرات. ذلك لأن المرحل الفرقي يعمل على تيارات صغيرة نسبية مما يجعله يشعر بتيارات القصر الصغيرة التي لا تشعر بها عادة أجهزة حماية قصر الدائرة. أما للمحولات الأقل من ذلك فإن العامل الاقتصادي لا يبرر استخدام تلك الحماية. كما أنه لا يجوز الاعتماد على الحماية الفرقية فقط والاستغناء بها عن حماية تجاوز التيار حيث أن الحماية الفرقية محددة بمنطقة المحول فقط كما سبق بيانه.

ترتبط الحماية الفرقية بمشاكل عديدة نذكرها فيما يلي باختصار مع ذكر الحلول لها.

أولاً: تيار المغنطة المندفع:

علمنا من البند السابق أن تيار المغنطة المندفع هو تيار لا حملي، أي أنه يظهر على الجانب الابتدائي فقط ولا يظهر على الجانب الثانوي. معنى ذلك ببساطة أن مثل هذا التيار من الممكن أن يسبب عمل المرحل الفرقي. توجد حلول عديدة للتغلب على هذه المشكلة، وجميع هذه الحلول ممكنة ومطبقة عملياً، منها ما يأتي:

١ ـ استعمال مرحل فرقي بحساسية منخفضة لموجة التيار المندفع. أي أن هذا المرحل له تيار لقط مرتفع بحيث يتجاوز التيار المندفع، بالإضافة إلى تأخير زمني كافٍ.

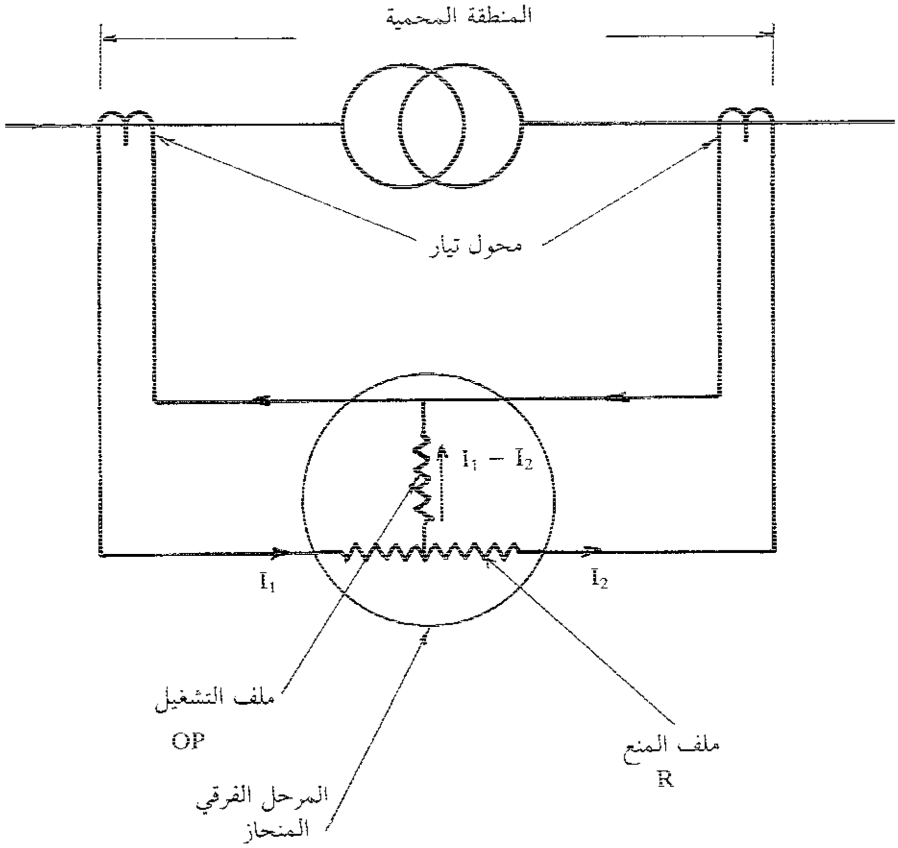
٢ ـ استخدام مرحل انخفاض جهد مع المرحل الفرقي. يميز هذا المرحل بين حالة التيار المندفع وحالة قصر الدائرة التي تكون مصحوبة بانخفاض شديد في جهد أحد الأطوار على الأقل.

٣ ـ تغذية المرحل الفرقي بعزم معاكس لعزم التشغيل يتم توليده من توافقيات التيار المندفع وخاصة التوافقية الثانية. إن هذا يميز بين تيار القصر الذي لا يحتوي على تلك التوافقية وبين التيار المندفع.

٤ ـ يمكن كذلك منع تشغيل المرحل الفرقي بأية وسيلة عند لحظة تشغيل المحول وتوصيله على مصدر التغذية.

ثانياً: وجود فرق بين تياري المرحل الفرقي:

لا يمكن من الناحية العملية الحصول على تيارين متساويين تماماً من محولَيْ التيار اللذين يغذيان المرحل الفرقي وذلك نتيجة لتفاوت الصناعة والتوصيلات والأجهزة وغير ذلك. ورغم أن هذا الفرق يكون صغيراً في الحالات العادية بحيث يمكن ضبط المرحل تبعاً لذلك، إلا أنه عند حدوث خطأ خارجي Through fault فإن ارتفاع قيمة تيار القصر يرفع من قيمة هذا الفرق مما قد يؤدي إلى تشغيل المرحل نتيجة لخطأ خارج منطقة الحماية. يمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال مرحل يعرف بإسم المرحل الفرقي المنحاز Biased differential relay أو المرحل الفرقي المئوي Per-cent differen-tial relay. يبين الشكل ٦ ـ ٣ فكرة عمل هذا المرحل. يحتوي المرحل على ملفين، ملف التشغيل Operating coil ويتولد فيه العزم المسبب لتشغيل المرحل، وملف المنع Restraining coil ويتولد فيه عزم عكس العزم الأول، أي أنه يتسبب في منع تشغيل المرحل. ويتم تغذية المرحل بواسطة محولَيْ التيار. يتصل ملف التشغيل بمنتصف ملف المنع. تبعاً لهذا الترتيب نجد ما يأتي:



شكل ٦ ـ ٣ توصيل المرحل الفرقي المنحاز

١ ـ العزم المسبب للتشغيل يتناسب مع $(I_1 - I_2)$.

٢ ـ العزم المسبب للمنع يتناسب مع $(\frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2)$ لأن كل تيار يمر في نصف عدد لفات ملف المنع.

٣ ـ يتم ضبط المرحل على قيمة لقط تعرف باسم قيمة اللقط المئوي تبعاً للعلاقة

$$\% \text{ Pickup value} = \frac{I_1 - I_2}{(I_1 + I_2)/2} \times 100$$

تتراوح هذه النسبة من ٢٠٪ إلى ٥٠٪ عادة، ويتم اختيارها بحيث لا تتسبب الأخطاء الخارجة عن منطقة الحماية في تشغيل المرحل. كما أن تلك

النسبة تسمح بـالفروق التي يمكن أن تحـدث بين I_1 و I_2 نتيجة لـلأسباب السابق ذكرها في بداية هذا البند.

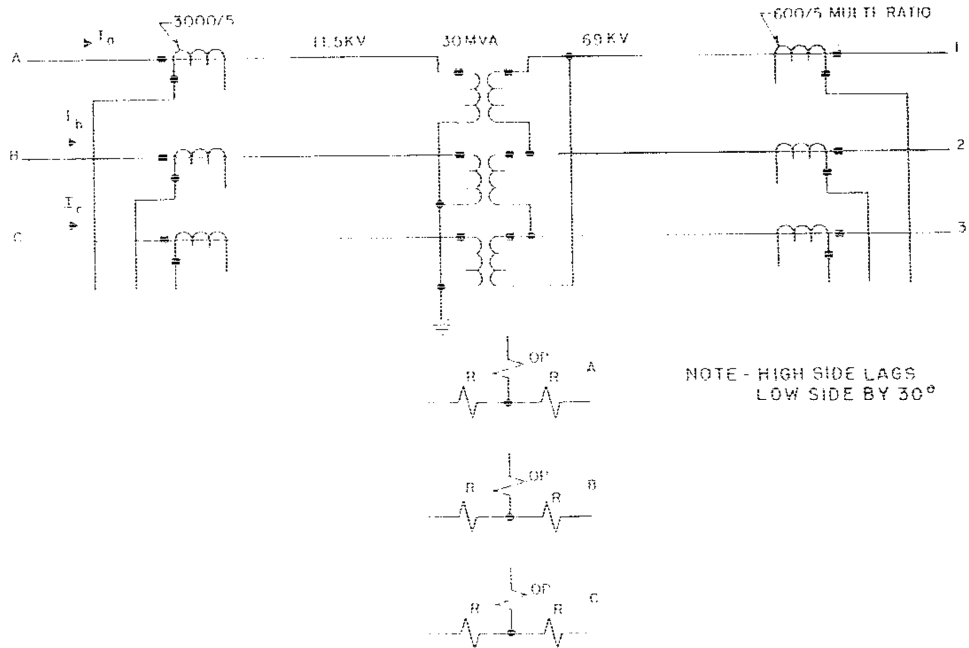
يتم ضبط هذا المرحـل أيضاً على أسـاس النسبة بين أصغـر تيار مسبب لعمل المرحل ومقنن ملف التشغيل.

ثالثاً: الفرق الطوري بين جانبي المحول:

تستعمل محولات دلتا ـ نجمة عادة في المنظومـات الصناعيـة. وتسبب هـذه المحولات زاويـة طور بين تيـارات الجانب الابتـدائي وتيارات الجـانب الثانوي تكون إحدى مضاعفات ٣٠°. ولكي يمكن تنفيذ الحماية الفرقية بطريقة سليمة يجب تعويض هذا الفارق الطوري في محولات التيار المغذية للمرحل الفرقي. ويتم بذلك توصيل محولات التيار نجمة على جانب الدلتا من محول التوزيع ودلتا على جانب النجمة من محول التوزيع.

٦ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ توصيل المرحلات الفرقية:

عنـد توصيـل المرحـل الفرقي مـع محولات التيـار يجب ضبط كـل من الأطوار ونسبة التحويل حتى نحصل على حماية سليمة. لكي نوضح ذلك نرسم المحول أولاً بتوصيلته المعطاة ونضع عليه محولات التيار على خطوطه الثلاثة وكذلك المرحلات الثلاثة دون توصيل كما هو موضح في الشكل ٦ ـ ٤. يبين الشكل محول نجمة ـ دلتا والمطلوب إجراء عملية ضبط الحماية الفرقية عليه. نتبع في ذلك الخطوتين الآتيتين بالترتيب:



شكل ٦ ـ ٤ خريطة عمل الحماية الفرقية للمحول

الخطوة الأولى: ضبط الأطوار

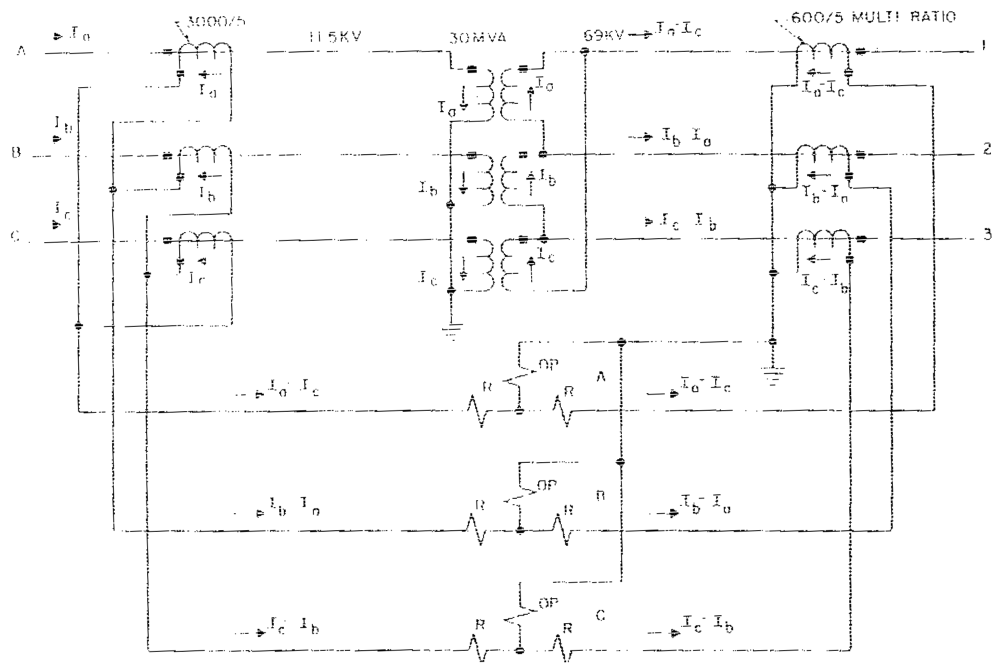
١ ـ نبدأ من جانب النجمة على محول التوزيع ونفرض التيارات I_a و I_b و I_c (شكل ٦ ـ ٥).

٢ ـ نرسم تلك التيارات داخل ملفات الدلتا ثم نوجد بعد ذلك تيارات الخطوط.

٣ ـ نوجد التيارات المارة في ملفات النجمة لمحولات التيار ثم نغذي بها نصف ملف المنع.

٤ ـ التيارات المارة في نصف ملف المنع الآخر يجب أن تكون هي نفسها التيارات المارة في النصف الأول.

٥ ـ بهذه الطريقة يمكن تحديد التيارات الداخلة إلى محولات التيار المتصلة دلتا ثم توصيل الدلتا نفسها.



شكل ٦ ـ ٥ الضبط الكامل للأطوار (الشكل ٦ ـ ٤)

الخطوة الثانية: ضبط النسبة

١ ـ نختار محولات التيار بنسبة تحويل مناسبة بحيث لا يتعدى التيار المار في ملف المنع قدرة حمل التيار لهذا الملف.

٢ ـ نضبط النسب بين محول التوزيع ومحولات التيار.

٣ ـ يتم الحصول على اتزان كامل باستخدام مخارج Taps المرحل أو محولات التيار. ورغم أن الاتزان الكامل هو أفضل الحالات إلا أنه من الممكن وجود فرق بسيط من التيارين.

بالنسبة للمحول المبين بالشكل ٦ ـ ٥.

ـ أقصى حمل ٣٠٠٠٠ ك.ف.أ.

ـ التيار على جانب النجمة (١١ ك.ف)

$$I_P = \frac{30000}{\sqrt{3} \times 11.5} = 1505 \text{ A}$$

ـ تيار محولات التيار

$$I_{sec} = \frac{1505}{600} = 2.51 \text{ A}$$

- التيار المار في الخط الداخل إلى المرحل (خارج من الدلتا)

$$I_R = 2.51\sqrt{3} = 4.35\ A$$

- التيار على جانب الدلتا (٦٩ ك.ف)

$$I_P = \frac{30000}{\sqrt{3} \times 69} = 251\ A$$

- نسبة محول التيار على هذا الجانب يجب أن تكون

$$\frac{251}{4.35} = 57.7$$

ونختار بذلك نسبة التحويل 60 أي (300:5).

- التيار الخارج من محول التيار والداخل للمرحل هو

$$\frac{251}{60} = 4.19\ A$$

- فرق التيارين يساوي التيار المار في ملف التشغيل

$$I_{OP} = 4.35 - 4.19 = 0.16\ A$$

- نسبة عدم الاتزان في ظروف التشغيل العادية

$$= \frac{0.16}{4.19} \times 100 = 3.82\%$$

وهذه النسبة هي نسبة مقبولة حيث أن نسبة عدم الاتزان المسموح بها في مثل هذه المرحلات تصل إلى ٥٠٪ كما ذكرنا من قبل.

٦ - ٣ - ٣ حماية الخطأ الأرضي:

رغم أن الحماية الفرقية تقوم بعمل حماية من الخطأ الأرضي، إلا أنه في بعض الحالات يكون تيار الخطأ الأرضي أقل من القيمة التي تسبب عمل المرحل الفرقي. تحدث مثل تلك الحالات عند تأريض نقطة تعادل المحول

بواسطة مقاومة أو مفاعلة كبيرة مما يحد من قيمة تيار القصر الأرضي. يمكن في تلك الحال استعمال حماية أرضية منفصلة.

توجد طرق عديد للحماية الأرضية، ويمكن اختيار ما هو مناسب لكل حالة. وكل هذه الطرق تعتمد إما على قياس التيار المار إلى الأرض مباشرة وإما على قياس مجموع التيارات الثلاثة في خطوط المحول (هذا المجموع يساوي تيار الخطأ الأرضي). كما يمكن أن تكون الحماية محددة بمنطقة معينة Restricted أو غير محددة Unrestricted. بين الشكل ٦ ـ ٦ بعضاً من هذه الترتيبات.

٦ ـ ٤ تمور الجهد:

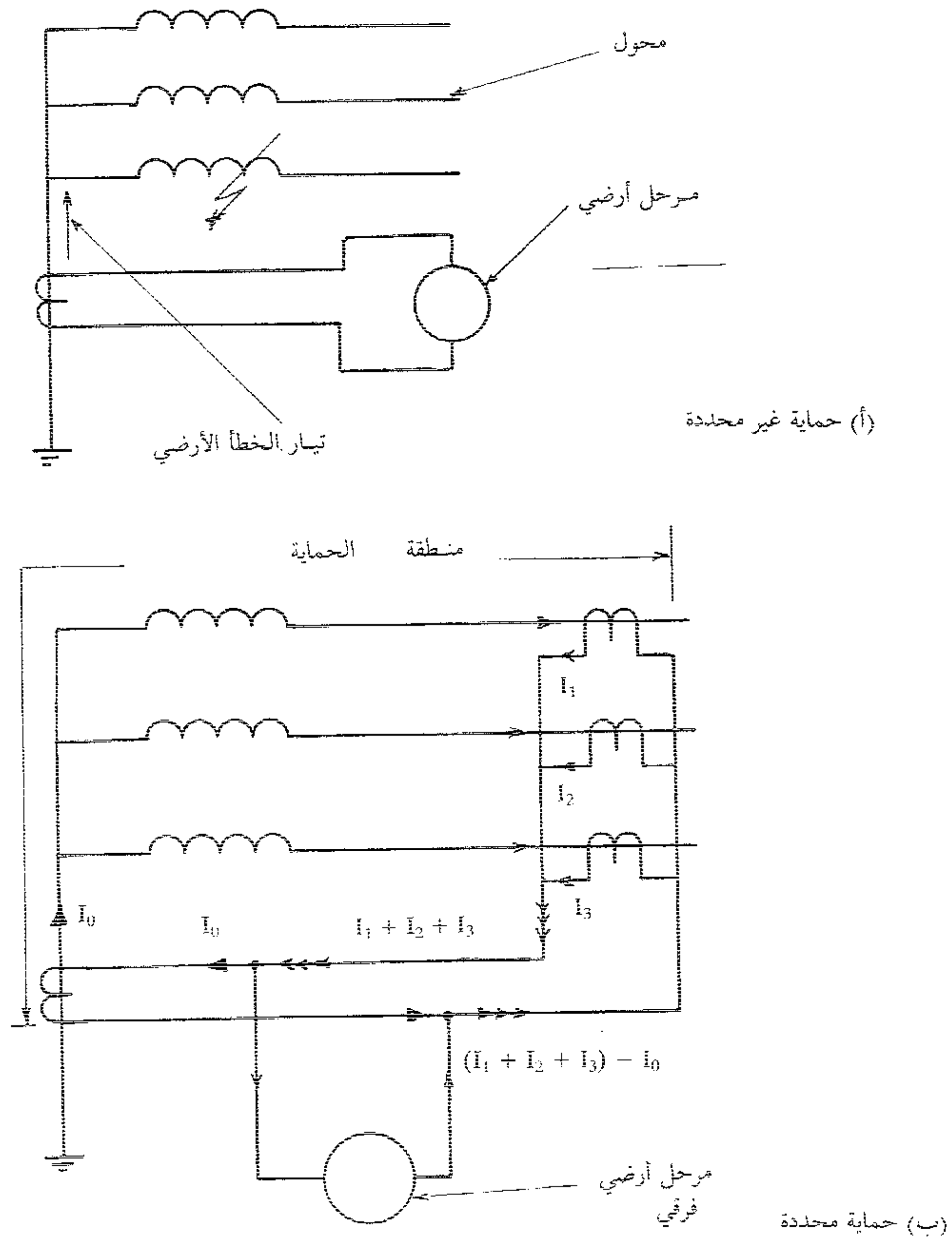
تمورات الجهد Voltage surges هي الارتفاعات المفاجئة والشديدة في الجهد نتيجة لعمليات الفتح والقفل في الشبكة أو نتيجة لعوامل خارجية كالصواعق البرقية المباشرة على المحول والموجات الراحلة Travelling waves الداخلة إلى المحول من خلال الخطوط المتصلة به.

يمكن بصفة عامة التحكم في تجاوزات الجهد الناتجة من عمليات الفتح والقفل من خلال دراسة وتحليل خواص وأداء الشبكة. أما العوامل الخارجية فيجب إجراء الحماية المناسبة منها كما يأتي:

أولاً: الصواعق البرقية المباشرة:

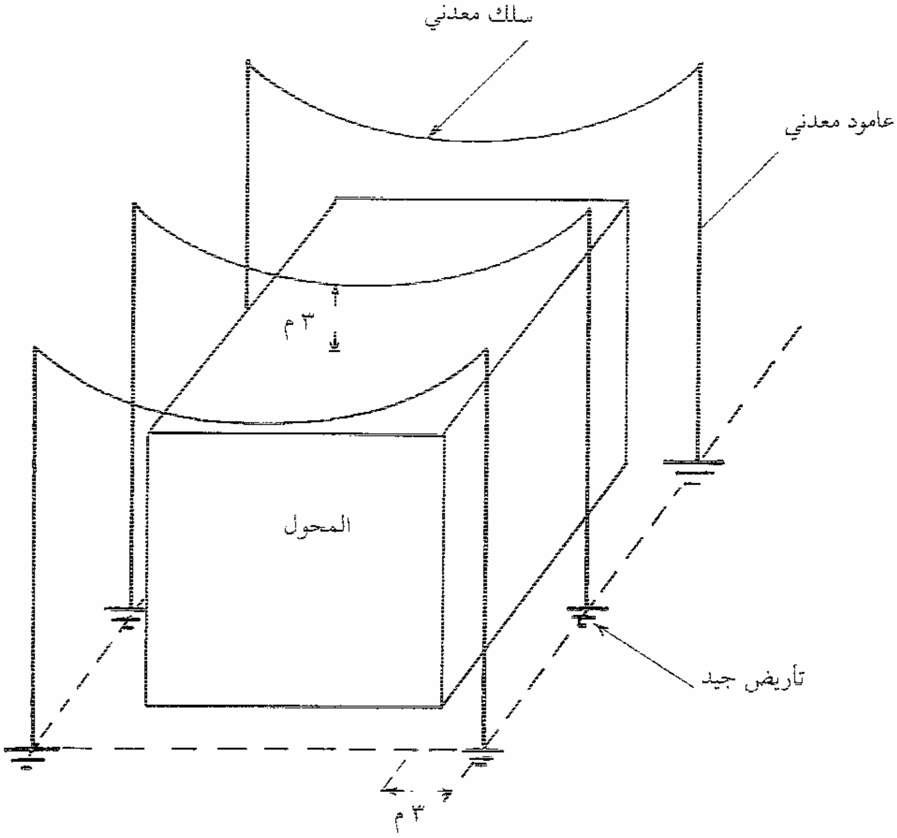
إذا كان المحول موضوعاً داخل مبنى خرساني مقفل فمن الممكن الاستغناء تماماً عن حمايته من الصواعق المباشرة، حيث يعمل هذا المبنى على حماية المحول بصورة كافية. أما إذا كان المحول موضوعاً خارج المبنى Outdoor فيجب حمايته من الصواعق البرقية المباشرة باستخدام إحدى الطرق المعروفة في مجال الحماية من الصواعق البرقية. نذكر من تلك الطرق ما يأتي:

١ ـ استعمال شبكة من الأسلاك الأفقية الهوائية معلقة على أعمدة بعيدة عن المحول وتوصيلاته. يتم ربط هذه الشبكة بالأرض جيداً من خلال موصلات



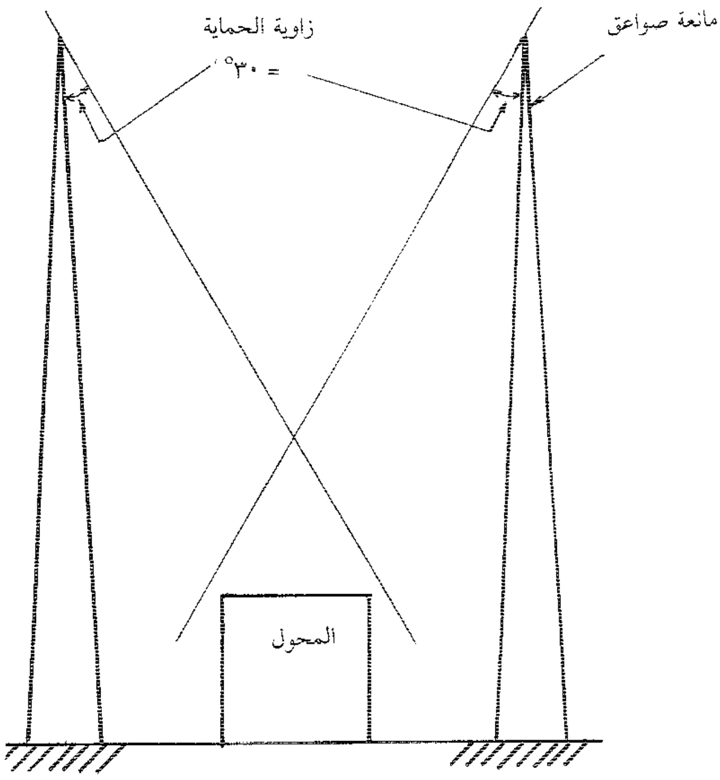
شكل ٦ ـ ٦ الحماية الأرضية للمحول

وإلكتـرودات تأريض. يبين الشكـل ٦ ـ ٧ الشروط المتبعـة في مثـل تلك الحالة.



شكل ٦ ـ ٧ حماية المحول الخارجي من الصواعق المباشرة

٢ ـ استخدام قضيبين هوائيين لعمل حماية كاملة للمحـول. يعمل كـل قضيب كمانعة صواعق لحماية المحول. ويتصل القضيبان جيداً بالأرض كمـا هو مبين بالشكل ٦ ـ ٨.



شكل ٦ ـ ٨ حماية مزدوجة لمحول خارجي من الصواعق المباشرة

وللحصول على البيانات التفصيلية لتصميم تلك الحماية يمكن الـرجوع إلى المرجع رقم ١٦ .

ثانياً: الموجات الراحلة:

الموجة الراحلة هي موجة تيار مرتفع تنشأ عادة من تحرك شحنة كهـربية عالية على الخط إلى أن تصل إلى نهاية هذا الخط. تتسبب الصواعق البرقيـة والشحنات الكهربية الساكنة على الخطوط الهوائية في حدوث تلك الموجات. عندما تقابل هذه الموجة جهاز له معاوقة مميزة (معاوقة تمور) Surge impedance عالية فإنها تتسبب في حدوث ارتفاعات خطيرة في جهد هذا الجهاز. تؤدي تلك الارتفاعات إلى انهيار عزل ملفات المحول وكذلك تلف عوازل أذرع المحول،

وقد تتسبب في حدوث رنين خطير في الشبكة.

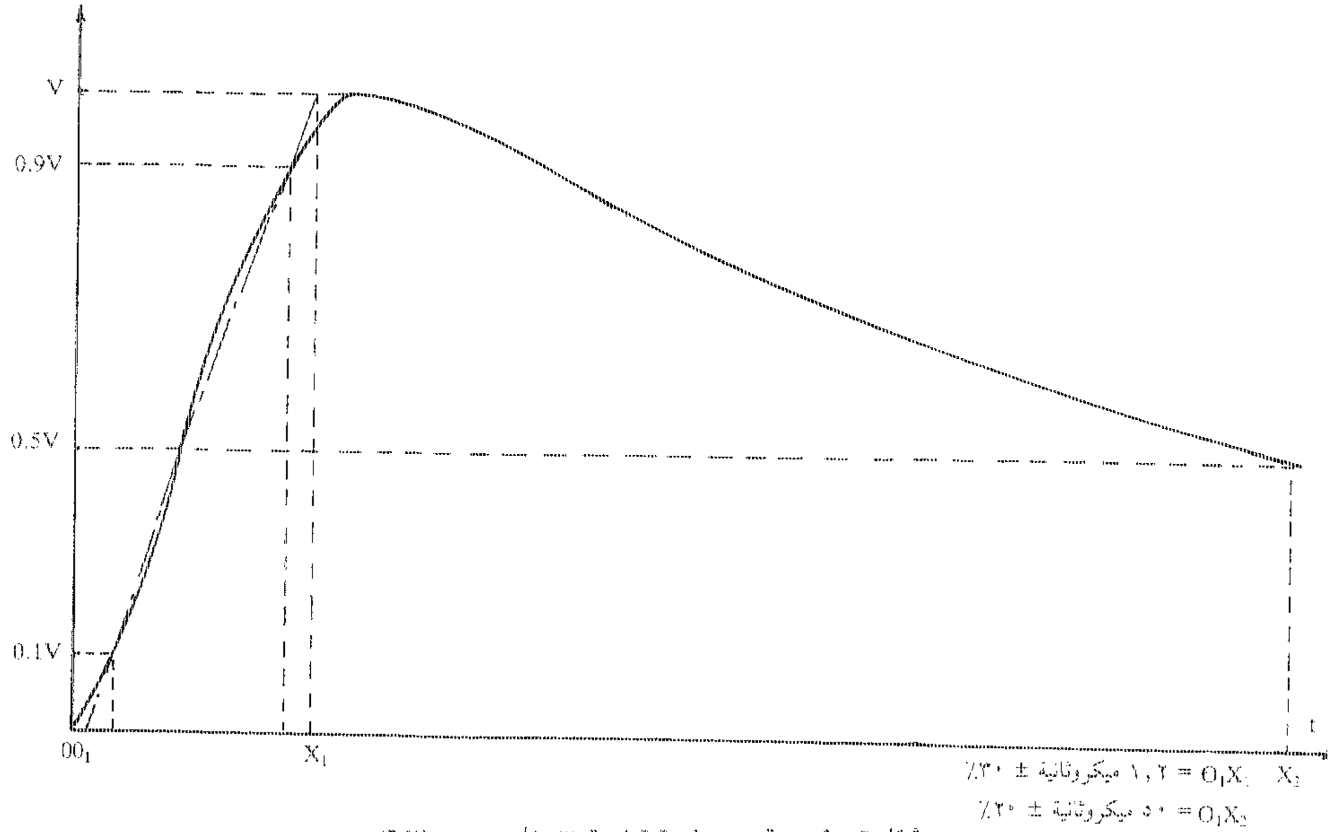
يتم تحديد مدى قدرة المحول على تحمل تمورات الجهد بقيمة تعرف بإسم منسوب عزل الدفع الأساسي (.Basic-impulse-insulation level (BIL . ويتم استعمال موجة دفعية قياسية للجهد كالمبينة بالشكل ٦ ـ ٩. وتبعاً لتلك القيمة يتم تحديد الجهاز المناسب للحماية من تمورات الجهد الدفعية. ومن المفيد في ذلك الشأن ملاحظة ما يأتي:

١ ـ إذا كان المحول موصلاً بكابلات على كل من جانبيه فإن احتمال تعرضه لموجة جهد دفعية ناتجة من صاعقة برقية أو عوامل خارجية مثل السُّحب يكون ضئيلاً للغاية نظراً لأن الكابلات تكون مدفونة في الأرض، كما أن الكابلات لها قدرة أكبر من الخطوط الهوائية على توهين موجة الجهد الدفعية. وينعدم هذا الاحتمال تقريباً إذا كان المحول داخل المبنى.

٢ ـ إن استخدام جهاز حماية تجاوز الجهد ـ مثل كامح التمور Surge arrester ـ يسمح بخفض قدرة العزل المطلوبة للمحول. ونظراً لأن تمور الجهد يظهر على شكل موجة راحلة على الخط فيجب أن يوضع كامح التور بحيث يكون أقرب ما يمكن من المحول وذلك لزيادة قدرته على الحماية.

٣ ـ إن قصر الدائرة وعمليات الفتح والقفل وكذلك الظواهر العابرة في منظومات القوى المتصلة بالمحول تؤدي عادة إلى ارتفاعات عابرة في الجهد بنفس التردد الطبيعي Natural frequency للمنظومة ـ وهو أعلى عادة من تردد القوى ٥٠ هرتز ـ وعلى العكس من ذلك فإن تمور الجهد الناشىء من الصواعق البرقية والعوامل الخارجية يكون ذا تردد أعلى من ذلك بكثير.

٤ ـ المعاوقة التمورية للمحول كبيرة بالمقارنة بباقي أجهزة الشبكة. وهي أكبر عادة في حالة المحولات الجافة التقليدية عنها في المحولات المملوءة بالزيت والمحولات المملوءة بالغاز. وهذا يفسر سبب انخفاض قيمة منسوب عزل الدفع الأساسي في المحولات الجافة التقليدية. ويجب مراعاة ذلك جيداً عند استعمال قواطع دائرة سريعة، حيث أن عملية قطع القوس الكهربي في مثل تلك القواطع تؤدي إلى ارتفاعات شديدة في



شكل ٦ ـ ٩ موجة جهد دفعية قياسية (١,٢ / ٥٠ ميكروثانية)

الجهد العابر المستعاد على المحول. ويمكن تدبير هذا الأمر مع كل من صانع المحول وصانع قاطع الدائرة.

يعطي الجدول ٦ ـ ٨ قيماً نمطية لمنسوب عزل الدفع الأساسي لأنواع المحولات المختلفة.

جدول ٦ ـ ٨ منسوب عزل الدفع الأساسي للمحولات (ك.ف)

الجهد العالي ك.ف / نوع المحول	٥	١٥	٢٥	٣٤,٥
مملوء بالسائل	٦٠	٩٥	١٥٠	٢٠٠
جاف (تقليدي)	٢٥	٥٠	١٢٥	١٥٠
جاف (تجهيز خاص)	٦٠	٩٥	١٥٠	١٥٠
مملوء بالغاز	٦٠	٩٥	١٥٠	١٥٠

يوجد العديد من أجهزة الحماية من الموجات الراحلة. لعل أبسط تلك الأنواع وأقدمها هو كامح الفجوة الهوائية Horn gap حيث ما زال يستخدم بصورة طيبة في منظومات الجهد المنخفض. كما توجد أنواع أخرى من الكوامح نذكر منها:

١ ـ الكامح ذو العمود والفجوة — Rod gap arrester

٢ ـ الكامح ذو الفجوات المتعددة — Multi-gap arrester

٣ ـ كامح الطرد — Expulsion arrester

٤ ـ كامح الصمام — Valve arrester

٥ ـ كامح الثايرايت — Thyrite arrester

٦ ـ الكامح المعدني المؤكسد — Metal oxide varistor

ويتم اختيار الكامح المناسب تبعاً لخواص عديدة في مجال هندسة الجهد العالي وليس من مجال دراستنا في هذا الكتاب. ويمكن الرجوع في ذلك إلى المرجع رقم ١٣ ورقم ١٨.

الباب السابع

التنسيق

Coordination

٧ ـ ١ مقدمة:

تنسيق الحماية هو عملية اختيار وضبط جميع أجهزة منظومة الحماية الموجودة في الشبكة بحيث تعمل هذه الأجهزة بتعاون وتنسيق تام فيما بينها بهدف تحقيق الخطة المطلوبة من الحماية. يمكن ـ بصفة مبدئية ـ تقسيم تلك العملية إلى خطوتين أساسيتين:

١ ـ اختيار أجهزة الحماية المناسبة (مصهرات ـ مرحلات ـ قواطع دائرة ـ محولات تيار. . .) بالمقننات المطلوبة تبعاً لنتائج دراسة تحليل الشبكة في الحالات العادية وحالات قصر الدائرة.

٢ ـ ضبط هذه الأجهزة للحصول على منحنى الزمن ـ التيار لكل جهاز بحيث تتم عملية التنسيق المطلوبة.

إن الهدف المطلوب من خطة تنسيق الحماية هو ما يأتي:

١ ـ فصل الجزء الخاطىء بأسرع وقت ممكن بواسطة الحماية الرئيسية.

٢ ـ وجود حماية ثانوية تفصل الخطأ بتأخير زمني محدد في حالة فشل الحماية الرئيسية في فصل الخطأ في الوقت المحدد لها.

٣ ـ تحقيق أكبر قدر ممكن من الانتقائية. إن ذلك يعني وضع خطة التنسيق بحيث يتم فصل أقل قدر ممكن من أجزاء الشبكة السليمة نتيجة لحدوث

قصر على جزء معين يجب فصله عن الشبكة.

يجب عمل دراسة أولية لعملية التنسيق وذلك مع التصميمات الأولية لمنظومة الحماية كما سبق ذكره في الباب الأول. إن هذه الدراسة تساعد في اختيار أجهزة الشبكة بمقننات سليمة، كما تساعد على تجنب إجراء تغييرات في الشبكة بعد إتمام التركيب. ويحدث في كثير من الأحيان أن يكون العامل المؤثر في اتخاذ قرار ما بالنسبة لتصميم الشبكة هو منظومة الحماية. ويجب بعد الانتهاء من بناء الشبكة بصورة كاملة إعادة دراسة عملية التنسيق بصورة نهائية على الواقع وإجراء التغييرات الضرورية التي تلزم عند إجراء الاختبارات والدراسة النهائية.

يجب - علاوة على ما سبق - إعادة دراسة عملية التنسيق في الحالات الآتية:

١ - حدوث تغييرات جوهرية في الشبكة كإضافة محولات أو كابلات جديدة مثلاً أو عمل تحسين لأداء الشبكة عن طريق إضافة مكثفات تحسين معامل القدرة أو مرشحات للتوافقيات.

٢ - إضافة أحمال جديدة إلى الشبكة أو زيادة التحميل أو تجاوز الحمل.

٣ - تغير مستوى قصر الدائرة Short circuit level على قضيب التغذية الرئيسي.

٤ - حدوث خروج اضطراري للشبكة المحلية غير متوقع نتيجة لخطأ حدث إما في شبكة التغذية وإما في شبكة محلية أخرى مجاورة.

٥ - حدوث خروج اضطراري لبعض أجزاء الشبكة المحلية بطريقة غير متوقعة أو لسبب غير معروف.

٧ - ٢ الاعتبارات الأساسية:

تحتاج عملية التنسيق إلى الأخذ في الاعتبار عدة عوامل أساسية والاهتمام بها بالإضافة إلى تجهيز الحسابات الأولية اللازمة لعملية الاختيار والضبط لأجهزة منظومة الحماية المختلفة. هذه الاعتبارات هي ما يأتي:

٧ ـ ٢ ـ ١ حسابات قصر الدائرة:

وهي أولى مراحل عملية تنسيق الحماية. وتتم تبعاً لما سبق بيانه في الباب الثاني. ونبدأ أولاً بتحديد المواقع التي نحسب عندها تيارات القصر. تكون هذه المواقع عادة عند قضبان التوزيع وبدايات كابلات التغذية حتى يمكن الحصول على أقصى تيار قصر ممكن. وتوضع أجهزة الحماية عادة عند هذه المواقع فتقوم بذلك بحماية كابل التغذية والحمل الذي يقوم الكابل بتغذيته (أو الجهاز الموصل على طرف الكابل من الناحية البعيدة من المصدر). وتجدر الإشارة هنا إلى أن اختيار مواقع حسابات قصر الدائرة ثم مواضع أجهزة الحماية هي عملية هندسية واقتصادية في نفس الوقت وتحتاج إلى شيء من الخبرة.

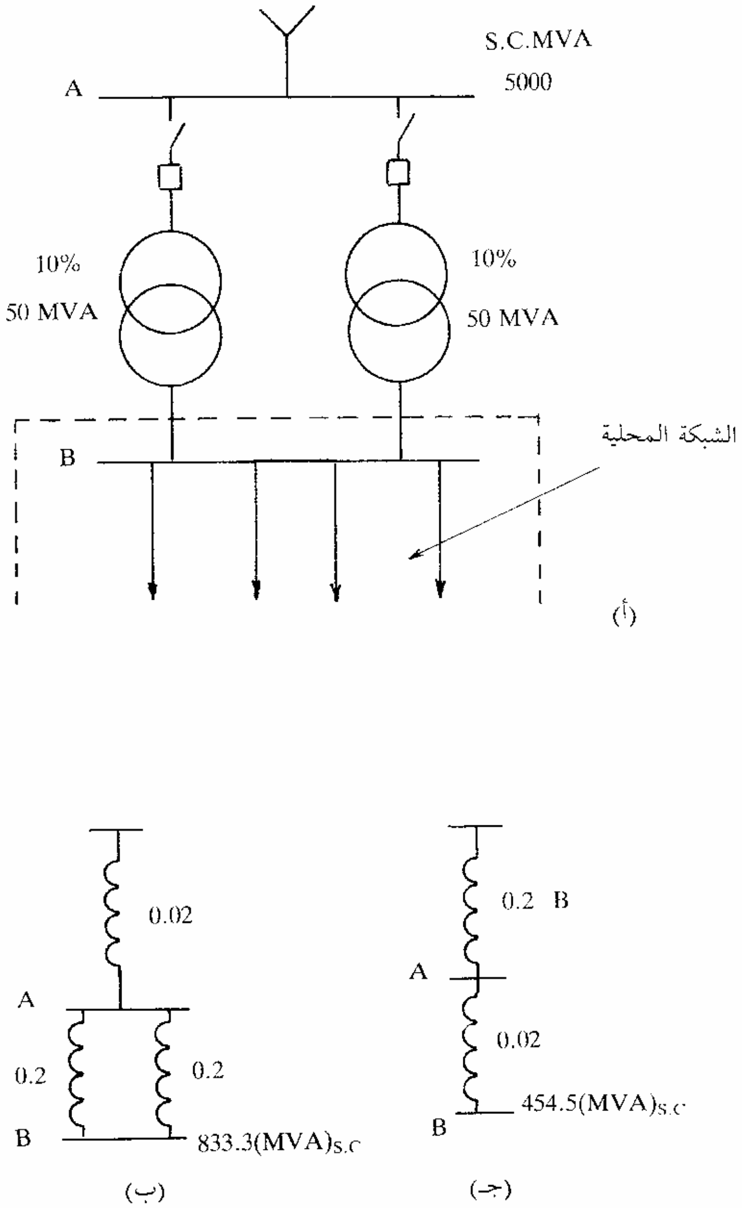
نجري بعد ذلك حسابات قصر الدائرة على كل موقع على حدة ونعين منها ما يلي:

١ ـ أكبر وأقل قيمة فعالة للتيار الفوري (الفترة دون العابرة).
٢ ـ أكبر وأقل قيمة فعالة للتيار بعد دورتين (الفترة العابرة).
٣ ـ أكبر وأقل قيمة فعالة لتيار القصر الأرضي (خطأ خط ـ أرض).

وتجد الإشارة هنا إلى ما يأتي:

أولاً: نظراً لأن توصيل الشبكة المحلية وطريقة تحميلها وتغذيتها قد يختلف من وقت لآخر فإنه يجب تحديد حالة الشبكة التي تعطي أكبر تيار قصر وحالتها التي تعطي أقل تيار قصر. نوضح ذلك بالمثال الآتي:

يبين الشكل ٧ ـ ١ ـ أ طريقة تغذية شبكة محلية من شبكة التغذية الرئيسية. تتم التغذية عن طريق محولين يعملان كهربياً على التوازي. منسوب قصر الدائرة على القضيب A هو ٥٠٠٠ م.ڤ.أ. من المعروف أن تيار القصر الناتج عن حدوث قصر دائرة في أي جزء من الشبكة المحلية يعتمد على منسوب قصر الدائرة على قضيب التغذية B، حيث يتم تغذية الشبكة المحلية من خلاله. من المحتمل أن يحدث القصر والمحولان في حالة توصيل بين A و B. ومن المحتمل أيضاً أن يحدث القصر وأحد المحولين خارج الخدمة لأي



شكل ٧ ـ ١ تأثير التوصيل على منسوب القصر

سبب مثل الصيانة أو الإصلاح مثلاً. بالرجوع إلى شكل ٧ ـ ١ ـ ب يمكن حساب أكبر منسوب قصر على B، وكذلك يمكن حساب أقل منسوب قصر على B من الشكل ٧ ـ ١ ـ جـ كما يأتي:

ـ مفاعلة شبكة التغذية (على أساس ١٠٠ م.ف.أ)

$$X_S = \frac{100}{5000} = 0.02 \text{ p.u.}$$

ـ مفاعلة محول على نفس الأساس

$$X_T = \frac{100}{50} \times \frac{10}{100} = 0.2 \text{ p.u.}$$

ـ المفاعلة المكافئة عند B والمحولان على التوازي

$$X_{SB} = 0.02 + \frac{1}{2} \times 0.2 = 0.12 \text{ p.u.}$$

ومنسوب القصر هو

$$(MVA)_{S.C.} = \frac{100}{0.12} = 833.3 \text{ MVA}$$

ـ المفاعلة المكافئة عند B ومحول واحد في الخدمة

$$X_{SB} = 0.02 + 0.2 = 0.22 \text{ p.u.}$$

ومنسوب القصر له

$$(MVA)_{S.C.} = \frac{100}{0.22} = 454.5 \text{ MVA}$$

منسوب القصر الأول يعطي أكبر تيار قصر يحدث داخل الشبكة، ويعطي منسوب القصر الثاني أقل تيار قصر. ويجب مراعاة ذلك في جميع توصيلات الشبكة.

يتم استعمال أكبر قيمة لتيار القصر في ضبط أجهزة الحماية وعمل التنسيق فيما بينها، وتستخدم أقل قيمة لتيار القصر للتأكد من أن هذه القيمة أكبر من مقننات ضبط أجهزة الحماية على قصر الدائرة وذلك للتأكد من أن تلك الأجهزة سوف تعمل في تلك الحال أيضاً.

ثانياً: تيار القصر الأرضي ينتج عن حدوث قصر بين أحد الخطوط والأرض. وهذا النوع من القصر هو أحد أنواع القصر غير المتماثل. ويلزم لحساب

تلك الأنواع من القصر استخدام نظرية المركبات المتماثلة في تحليل الدوائر غير المتماثلة Symmetrical components. وتيار القصر الأرضي يكون عادة أقل من تيار القصر المتماثل المذكور في الباب الثاني وخاصة في شبكات التوزيع. يعطي الملحق أ فكرة مختصرة عن طريقة حساب تيار القصر الأرضي باستعمال المركبات المتماثلة.

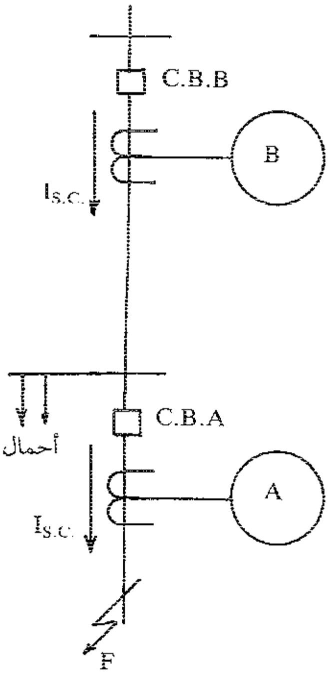
٧ - ٢ - ٢ الهامش الزمني:

يجب عند توقيع منحنيات الزمن - التيار لأجهزة الحماية ترك فترة زمنية مناسبة بين كل جهاز حماية والذي يليه وذلك لضمان التنسيق السليم. تسمى هذه الفترة بالهامش الزمني Time margin. والسبب في ترك هامش زمني بين الأجهزة هو ما يأتي:

١ - تحتاج قواطع الدائرة إلى فترة زمنية لقطع الدائرة من لحظة استلام إشارة القطع.

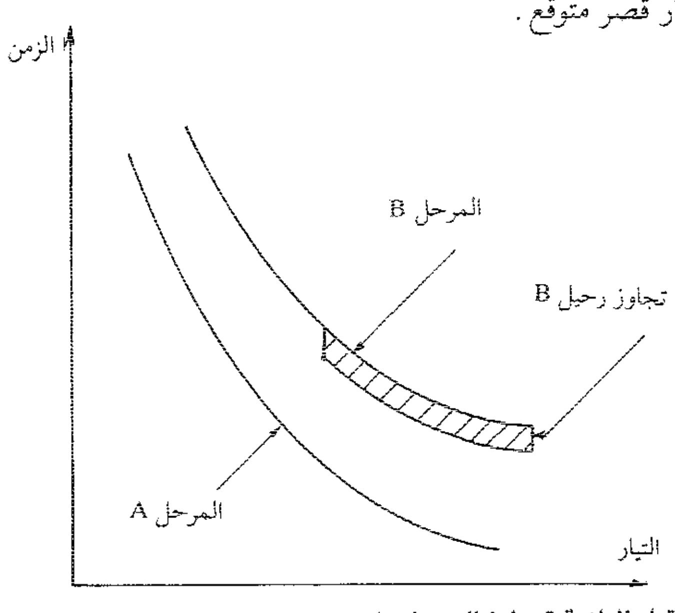
٢ - المنحنيات الخصائصية للمصهرات ليست شديدة الدقة بصفة عامة.

٣ - تعاني المرحلات الكهرومغناطيسية من ظاهرة تجاوز الرحيل Overtravel-overshoot، فبالإشارة إلى شكل ٧ - ٢، عند حدوث خطأ على F فإن تيار القصر يتسبب في تشغيل مرحل الحماية الرئيسية A ومرحل الحماية الثانوية B في نفس الوقت. ونظراً لأن المرحل A أسرع من المرحل B فإن A يتسبب في تشغيل قاطع الدائرة C.B.A، وهذا بطبيعة الحال لا يتسبب في فصل الأحمال الموضحة على الشكل. في تلك الأثناء يكون المرحل B ما زال يرتحل حتى بعد فصل الخطأ وذلك بسبب القصور الميكانيكي وطاقة حركة الجزء المتحرك فيه. يستمر هذا الرحيل حتى تنتهي الطاقة الكامنة فيه، وتسمى هذه الظاهرة بتجاوز الرحيل. قد يكون تجاوز الرحيل هذا كبيراً إلى الحد الذي يتسبب في اتصال تلامسات المرحل وتشغيل قاطع الدائرة C.B.B. وينتج عن ذلك قطع التغذية عن الأحمال الموضحة بطريقة غير مرغوبة.



شكل ٧ ـ ٢ ظاهرة تجاوز الرحيل

لكي تؤخذ ظاهرة تجاوز الرحيل في المرحلات الكهرومغناطيسية في الاعتبار يتم رسم منحنى آخر للمرحل أسفل المنحنى الأصلي وبزمن أقل منه بمقدار فترة تجاوز الرحيل التي يجب أن يتم تحديدها من صانع المرحل. يبين الشكل ٧ ـ ٣ هذه الفكرة. ويكفي رسم الظاهرة في منطقة أعلى تيار قصر متوقع.

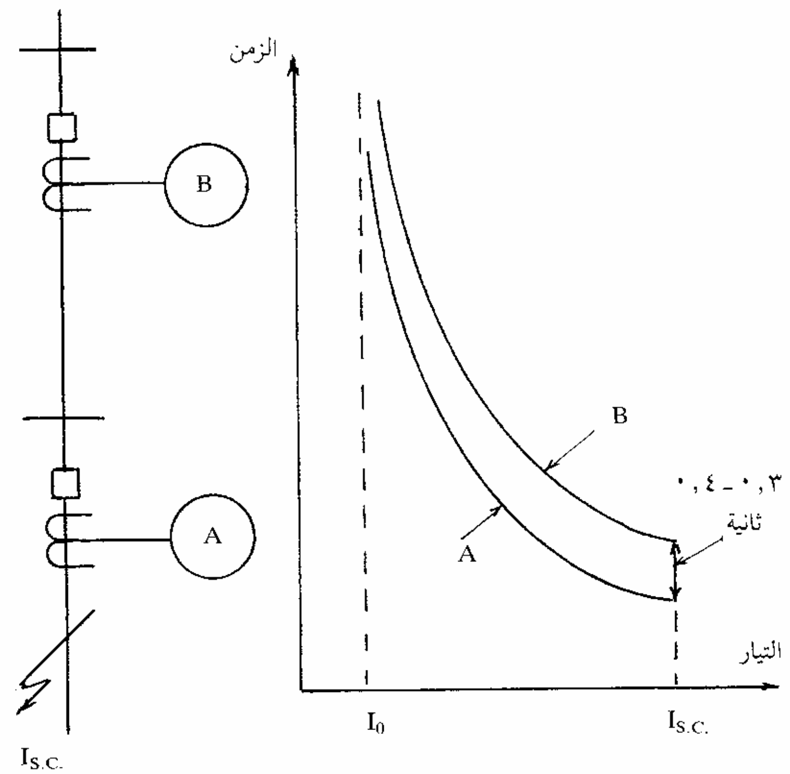


شكل ٧ ـ ٣ أعتبار ظاهرة تجاوز الرحيل على منحنى الزمن ـ التيار بين المرحلين A و B للشكل ٧ ـ ٢

٤ ـ يجب أخذ تفاوت التصنيع في الاعتبار لجميع أجهزة الحماية.

من المفروض أن يتم تحديد الهامش الزمني الصحيح بعد إجراء التركيبات النهائية وإجراء التجارب الواقعية على الشبكة. ويمكن ـ بصفة عامة ـ الاسترشاد بالقيم الآتية في مراحل التصميم الأولى.

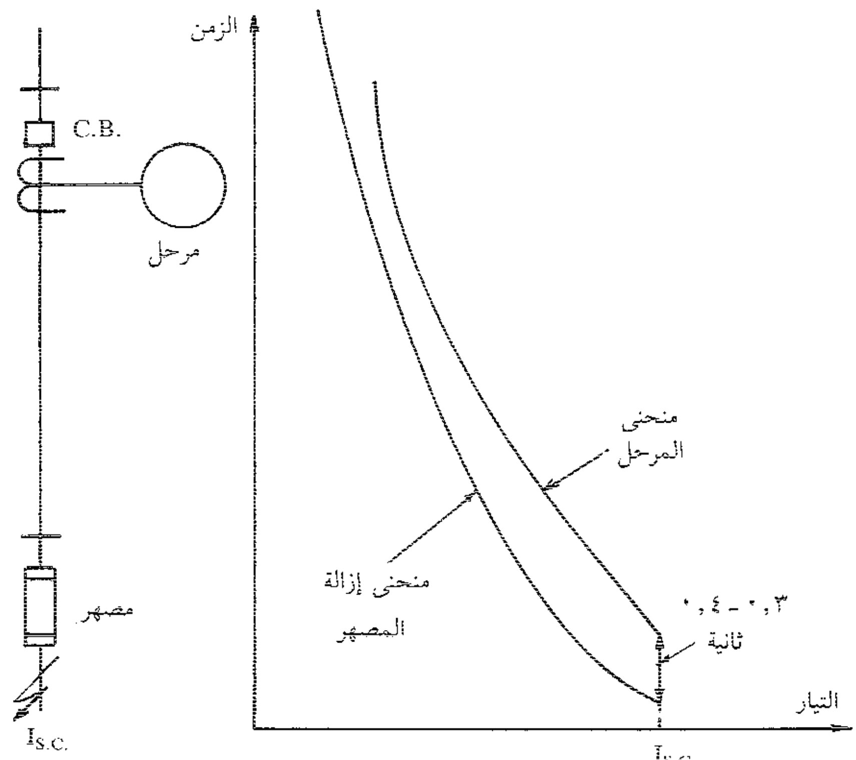
أ ـ من ٠,٣ إلى ٠,٤ ثانية بين المرحلات الكهرومغناطيسية التي تقوم بتشغيل قواطع دائرة. وتؤخذ القيمة الأقل للمرحلات ذات التعاكسية الشديدة والفائقة. يوضح ذلك الشكل ٧ ـ ٤.



شكل ٧ ـ ٤ التنسيق بين مرحلين

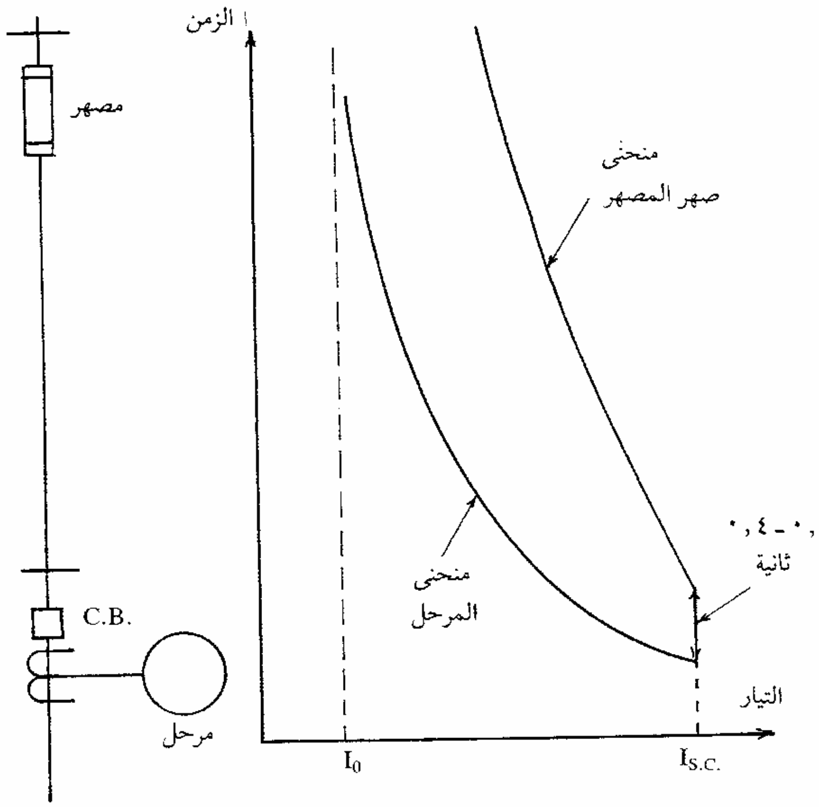
ii ـ من ٢ , ٠ إلى ٣ , ٠ ثانية بين المرحلات الكهروستاتيكية (الساكنة) التي تقوم بتشغيل قواطع دائرة. والسبب في خفض الفترة هو عدم وجود ظاهرة تجاوز الرحيل في تلك المرحلات.

iii ـ من ٣ , ٠ إلى ٤ , ٠ ثانية بين مرحل يعمل كحماية ثانوية ومصهر يعمل كحماية رئيسية. وتقل تلك القيمة إلى ١ , ٠ ثانية إذا كان زمن فصل الخطأ بواسطة المصهر أقل من ١ ثانية. يبين الشكل ٧ ـ ٥ هذا الوضع.



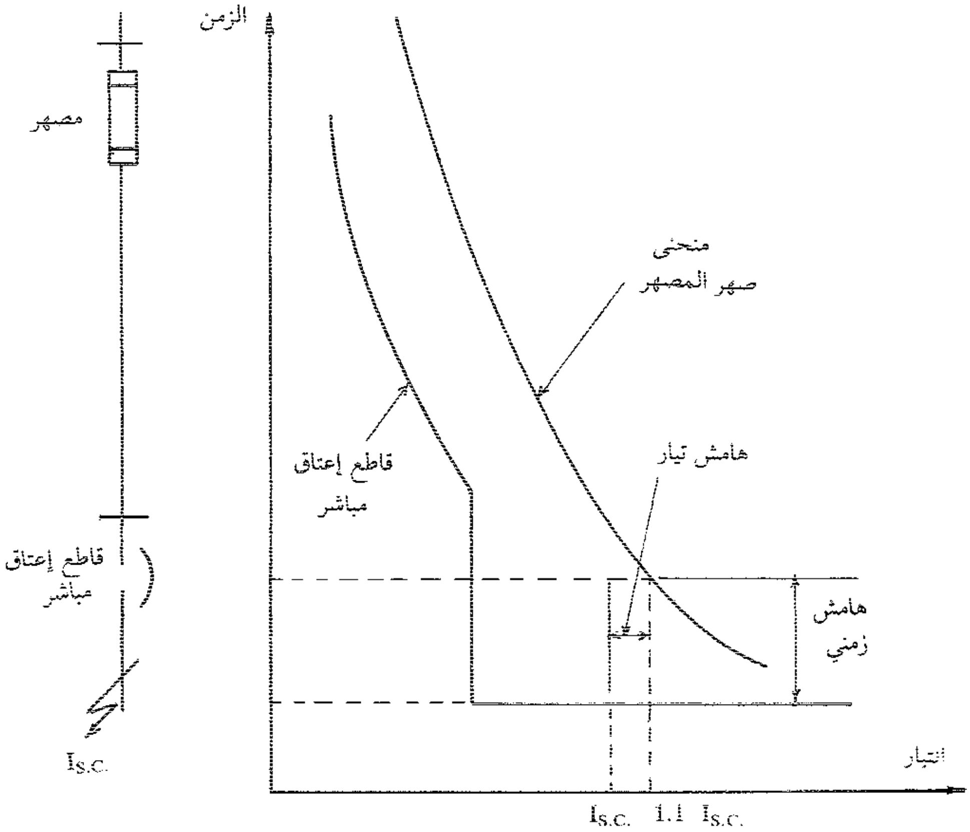
شكل ٧ ـ ٥ التنسيق بين مصهر (حماية رئيسية) ومرحل (حماية ثانوية)

iv ـ من ٠,٣ إلى ٠,٤ ثانية بين مصهر يعمل كحماية ثانوية ومرحـل يعمل كحماية رئيسية كما في الشكل ٧ ـ ٦.



شكل ٧ ـ ٦ التنسيق بين مرحل (حماية رئيسية) ومصهر (حماية ثانوية)

- يمكن اعتبار هامش تيار مقداره ١٠٪ كهامش تنسيق زمني بين مصهر وقاطع دائرة يعمل بنظام الإعتاق المباشر. يبين الشكل ٧ ـ ٧ هذه الفكرة.



شكل ٧ ـ ٧ التنسيق بين قاطع إعتاق مباشر ومصهر باستعمال هامش تيار

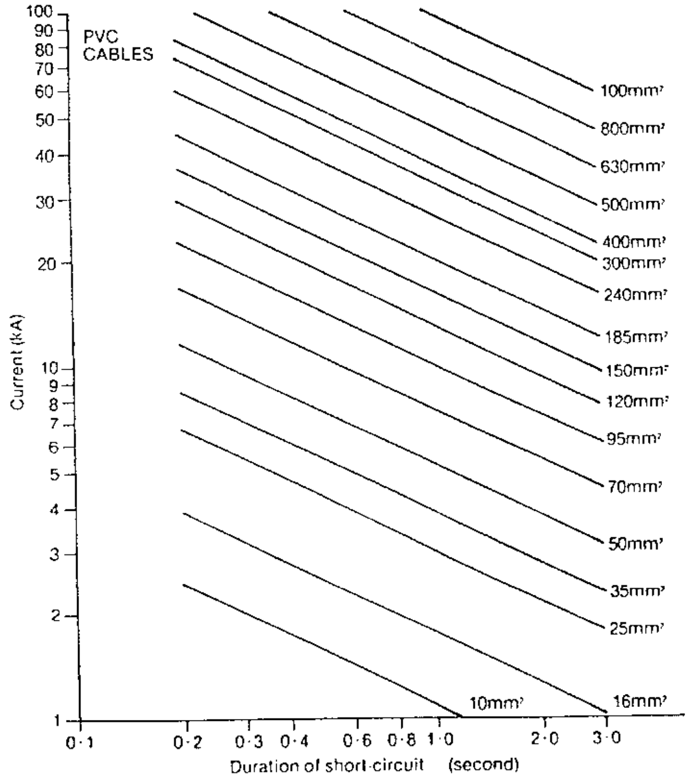
vi ـ ٤ , ٠ ثانية بين مرحل كهرومغناطيسي يقوم بتشغيل قاطع دائرة وبين قاطع دائرة يعمل بنظام إعتاق مباشر.

vii ـ من الصعب تحديد الهامش الزمني في حالة التنسيق بين قواطع تعمل بنظام الإعتاق المباشر. ويتم الاكتفاء عادة بشرط عدم تقاطع الخصائص مع بعضها مع ترك فواصل صغيرة بينها. وفي تلك الحال يجب رسم خصائص الزمن ـ التيار بصورتها الفعلية، أي على شكل مناطق على النحو التي تم بيانه في الباب الرابع.

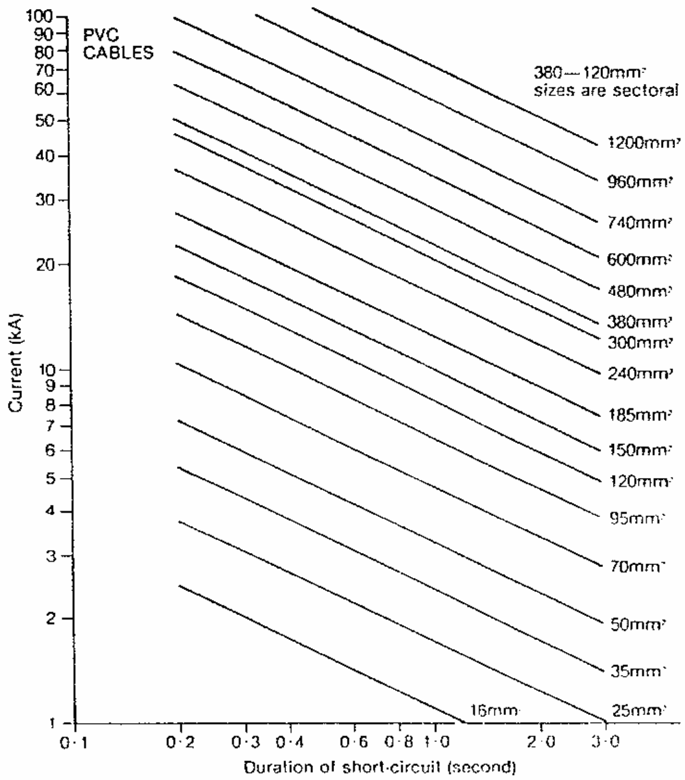
٧ ـ ٣ حماية الكابلات:

يتم عادة اختيار مقاطع الكابلات بصفة مبدئية تبعاً لقدرة حمل التيار بعد أخذ معاملات التقنيين Derating factors في الاعتبار ثم مراجعة مقدار الهبوط في الجهد الذي يسببه مرور تيار الكابل المقنن. يجب بعد ذلك التأكد من قدرة احتمال الكابل لمرور تيارات القصر خلاله. إن هناك فرقاً جوهرياً بين ارتفاع درجة حرارة الكابل الذي يسببها تيار الحمل وارتفاع درجة حرارته التي يسببها تيار القصر. ففي الحالة الأولى يكون معدل فقد الحرارة من الكابل يساوي معدل اكتسابه لتلك الحرارة من المفقودات النحاسية وغيرها. أما في حالة تيارات القصر فإن كمية الحرارة المكتسبة لا تجد الوقت الكافي للخروج من الكابل وتستهلك كلها في رفع درجة حرارته مما يؤدي إلى تلف عوازل الكابل حيث أنها أكثر مكونات الكابل تأثراً بارتفاع درجة الحرارة.

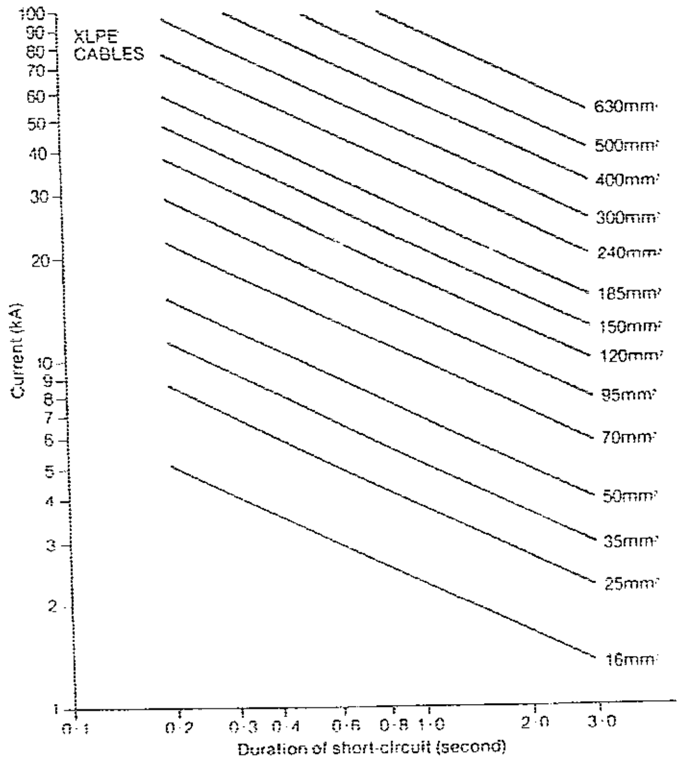
تقدم مصانع الكابلات علاقات بيانية بين تيار القصر المتماثل المار في الكابل وأقصى فترة زمنية يمكن للكابل أن يتحمل خلالها هذا التيار. وهذه العلاقات البيانية تمثل منحنى تلف الكابل بين الزمن وتيار القصر Damage curve. ويمكن في حالة غياب تلك البيانات استعمال البيانات المعطاة في الأشكال من ٧ ـ ٨ إلى ٧ ـ ١١.



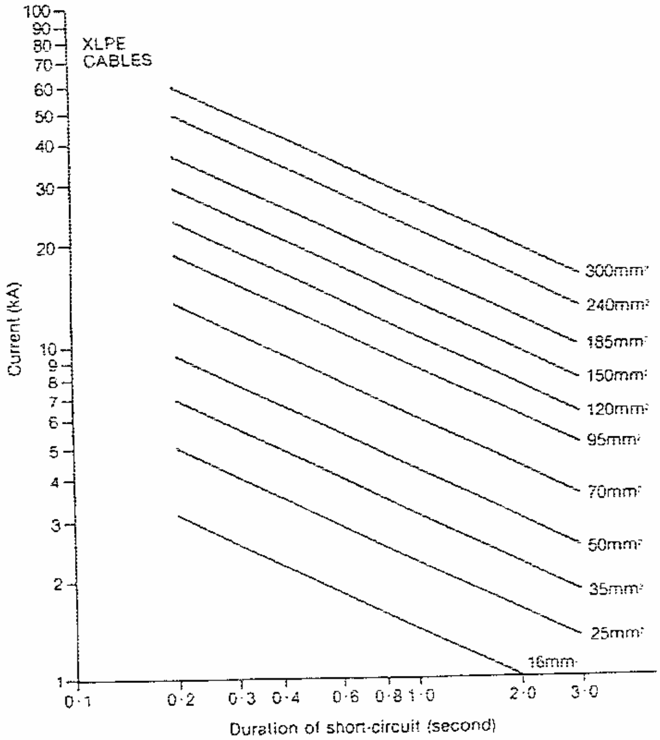
شكل ٧ ـ ٨ مقننات تيار القصر لكـابـلات PVC جهـد ١ ك ف بمـوصلات نحـاسية (على أسـاس درجة حرارة نهائية للموصل ١٥٠°م حتى مقطع ٣٠٠مم^2 ودرجة حرارة نهائية ١٣٠°م للموصلات الأكبر من ذلك).



شكل ٧ ـ ٩ مقننات تيار القصر لكابلات PVC جهد ١ ك ف بموصلات الومنيوم (على أساس درجة حرارة نهائية للموصل ١٥٠°م حتى مقطع ٣٠٠مم٢ ودرجة حرارة نهائية ١٣٠°م للموصلات الأكبر من ذلك).



شكل ٧ ـ ١٠ مقننات تيار القصر لكابلات XLPE بموصلات نحاس على أساس ارتفاع ١٦٠°م في درجة الحرارة.



شكل ٧ ـ ١١ مقننات تيار القصر لكابلات XLPE بموصلات الومنيوم على أساس ارتفاع ١٦٠°م في درجة الحرارة.

يمكن كذلك استعمال العلاقة الآتية بين تيار القصر المتماثل بالأمبير وفترة القصر بالثانية

$$I^2 = \frac{K^2S^2}{T} \quad \log_e \quad \frac{\theta_1 + \beta}{\theta_0 + \beta} \quad \text{.................} \quad (٧-١)$$

حيث :

I : تيار القصر المتماثل بالأمبير.

T : فترة القصر بالثانية.

S : مساحة الموصل (مم٢).

θ_1 : درجة الحرارة النهائية للموصل (°م).

θ_0 : درجة حرارة الموصل قبل القصر مباشرة (°م).

β ، K : ثابتان يعتمدان على مادة الموصل ويتعينان من الجدول ٧ ـ ١ .

جدول ٧ ـ ١ قيم β و K في المعادلة (٧ ـ ١)

المادة	β	K
نحاس	٢٣٤,٥	٢٢٦
ألومنيوم	٢٢٨	١٤٨

ويتم اختيار θ_0 و θ_1 تبعاً لنوع مادة العازل وذلك باستعمال الجدول ٧ ـ ٢ .

جدول ٧ ـ ٢ قيم θ_1 و θ_0 في المعادلة (٧ ـ ١) (°م)

المادة	θ_1	θ_0
PVC	١٥٠ ـ ١٣٠	٧٠
XLPE	٢٥٠	٩٠

نود أن نشير هنا إلى نقطتين يجب عدم إغفالهما:

أولاً : إن الإجهادات الميكانيكية الناشئة من تيار القصر قد تقلل من الفترة الزمنية المحسوبة تبعاً لما سبق، حيث من الممكن أن تؤدي تلك الإجهادات إلى انفجار الكابل وخاصة في الكابلات عديدة القلوب. يجب الاهتمام بهذه الظاهرة خاصة في الكابلات غير المسلحة. إن استخدام كابلات وحيدة القلب أفضل من هذه الناحية حيث لا تتولد قوى تنافر شديدة بين الموصلات وبعضها أثناء القصر كما هي الحال في الكابلات عديدة القلوب.

ثانياً : يؤدي القصر غير المتماثل إلى زيادة تيار غلاف الكابل المعدني Sheath وتسليحه Armouring والتي تتأثر بشدة بمثل تلك التيارات غير المتماثلة. يمكن عند الحاجة الاسترشاد بالجداول من ٧ ـ ٣ إلى ٧ ـ ٦.

عند إجراء عملية التنسيق يجب أن يكون منحنى الزمن ـ التيار لجهاز الحماية المسئول عن الكابل أسفل منحنى تلف الكابل وذلك على طول مدى قيم تيارات القصر العملية.

يتم اختيار مقنن جهاز حماية الكابل بحيث يساوي قدرة حمل التيار للكابل بعد أخذ معاملات التقنين في الاعتبار. ويتم أخذ المقنن الأكبر مباشرة حتى قدرة حمل تيار = ٨٠٠ أمبير والأصغر مباشرة لأعلى من ذلك (NEC 240 - 3). إن الفكرة من أخذ مقنن جهاز الحماية أصغر من مقنن تيار الكابل للتيارات العالية هو ضمان حماية آمن بالرغم من التضحية ببعض من مقدرة الكابل على حمل التيار. وتنطبق تلك الشروط على كابلات التغذية العامة.

جدول ٧ ـ ٣ أقصى تيار قصر أرضي غير متماثل لكابلات عوازل PVC بموصلات ألومنيوم مصمتة ومسلحة*

حجم الموصل مم٢	تسليح ألومنيوم ٠,٦/١ ك ف	تسليح ألومنيوم ١,٩/٣,٣ك ف	تسليح صلب ٠,٦/١ك ف			تسليح صلب ١,٩/٣,٣
	قلب واحد	قلب واحد	قلبان	٣- قلب	٤- قلب	٣- قلب
١٦			١,٦	١,٨	٢,٧	٣,٣
٢٥			٢,٤	٢,٧	٣,٢	٣,٥
٣٥			٢,٦	٣,١	٣,٥	٣,٨
٥٠	٢,٨	٣,٢	٤,٠	٣,٥	٥,٠	٥,١
٧٠	٣,٢	٣,٦	٤,٤	٥,٠	٥,٥	٥,٧
٩٥	٣,٦	٥,٢	٤,٨	٥,٧	٦,٥	٦,٢
١٢٠	٥,٢	٥,٦		٦,١	٨,٩	٨,٤
١٥٠	٥,٧	٥,٩		٨,٤	٩,٧	٩,١
١٨٥	٦,٢	٦,٤		٩,٥	١٠,٨	٩,٧
٢٤٠	٧,٠	٧,٠		١٠,٦	١٢,١	١٠,٦
٣٠٠	٧,٦	٧,٦		١١,٧	١٣,٤	١١,٧
٣٨٠	١٠,٩	١٠,٩				
٤٨٠	١٢,٢	١٢,٢				
٦٠٠	١٢,٩	١٢,٩				
٧٤٠	١٧,٨	١٧,٨				
٩٦٠	٢٠,٢	٢٠,٢				
١٢٠٠	٢٢,١	٢٢,١				

* قيمة التيار بالكيلوأمبير لفترة زمنية ١ ثانية

جدول ٧ - ٤ أقصى تيار قصر أرضي غير متماثل لكابلات عوازل PVC بموصلات نحاس ومسلحة*

حجم الموصل مم٢	تسليح ألومنيوم		تسليح صلب			
	٠,٦/١ك ف	١,٩/٣,٣ك ف	٠,٦/١ ك ف			١,٩/٣,٣
	قلب واحد	قلب واحد	قلبان	٣- قلب	٤- قلب	٣- قلب
١,٥			٠,٧	٠,٧	٠,٧	
٢,٥			٠,٨	٠,٨	٠,٩	
٤			٠,٩	١,٠	١,٥	
٦			١,٠	١,٥	١,٧	
١٠			١,٨	١,٩	٢,١	
١٦			١,٧	١,٩	٢,٧	٣,٣
٢٥			٢,٧	٢,٩	٣,٤	٣,٦
٣٥			٢,٩	٣,٣	٣,٧	٤,٠
٥٠	٣,١	٣,٥	٣,٣	٣,٧	٥,٤	٥,٤
٧٠	٣,٥	٣,٩	٣,٧	٥,٣	٦,١	٦,١
٩٥	٤,٠	٥,٧	٥,٤	٦,١	٧,٠	٩,١
١٢٠	٥,٧	٦,٢	٥,٨	٦,٦	٩,٧	٩,٧
١٥٠	٦,٤	٦,٥	٦,٤	٩,٣	١٠,٨	١٠,٤
١٨٥	٧,٠	٧,٠	٨,٩	١٠,٢	١١,٧	١١,٤
٢٤٠	٧,٨	٧,٨	٩,٩	١١,٤	١٣,٢	١٢,٧
٣٠٠	٨,٦	٨,٦	١١,٠٠	١٢,٧	١٤,٧	١٤,٠٠
٤٠٠	١٢,٢	١٢,٢	١٢,٣	١٤,٠	٢٠,٦	
٥٠٠	١٣,٤	١٣,٤				
٦٣٠	١٤,٦	١٤,٦				
٨٠٠	٢٠,٦	٢٠,٦				
١٠٠٠	٢٢,٩	٢٢,٩				

جدول ٧ ـ ٥ أقصى تيار أرضي غير متماثل لكابلات عوازل XLPE بموصلات ألومنيوم مصمتة ومسلحة*

حجم الموصل مم٢	تسليح ألومنيوم		تسليح صلب			
	٠,٦/١ ك ف	١,٩/٣,٣ ك ف	٠,٦/١ ك ف			٣,٣/١,٩
	قلب واحد	قلب واحد	قلبان	٣- قلب	٤- قلب	٣- قلب
١٦			١,٢	١,٤	١,٦	٢,٧
٢٥			١,٥	٢,٣	٢,٦	٣,٠
٣٥			٢,٢	٢,٦	٢,٩	٣,٢
٥٠	١,٦	٢,٨	٢,٤	٢,٩	٣,٣	٤,٥
٧٠	٢,٦	٣,١	٢,٨	٣,٣	٤,٩	٥,٠
٩٥	٣,٠	٣,١	٤,١٠	٤,٨	٥,٤	٥,٥
١٢٠	٣,٢	٤,٣		٥,٢	٧,٦	٧,٤
١٥٠	٤,٨	٤,٦		٧,٤	٨,٤	٨,٠
١٨٥	٥,٢	٥,٢		٨,٢	٩,٤	٨,٦
٢٤٠	٥,٧	٥,٧		٩,٢	١٠,٥	٩,٦
٣٠٠	٦,٣	٦,٣		١٠,١	١١,٧	١٠,٣

* قيمة التيار بالكيلوأمبير لفترة زمنية ١ ثانية

جدول ٧ ـ ٦ أقصى تيار قصر أرضي غير متماثل لكابلات عوازل XLPE بموصلات نحاسية ومسلحة*

حجم الموصل مم٢	تسليح ألومنيوم ٠,٦/١ك ف قلب واحد	تسليح ألومنيوم ١,٩/٣,٣ك ف قلب واحد	تسليح صلب ٠,٦/١ ك ف قلبان	تسليح صلب ٠,٦/١ ك ف ٣- قلب	تسليح صلب ٠,٦/١ ك ف ٤- قلب	تسليح صلب ١,٩/٣,٣ ٣- قلب
١٦			١,٧	١,٧	١,٩	٣,١
٢٥			١,٧	٢,٤	٢,٧	٣,١
٣٥			٢,٤	٢,٧	٣,١	٣,٣
٥٠	١,٨	٢,٧	٢,٦	٣,٠	٣,٥	٤,٦
٧٠	٢,٧	٣,١	٣,١	٣,٥	٥,١	٥,١
٩٥	٣,١	٣,٣	٤,٤	٥,٠	٥,٧	٥,٧
١٢٠	٣,٣	٤,٨	٤,٩	٥,٥	٨,٠	٧,٨
١٥٠	٤,٨	٥,١	٥,٤	٧,٨	٩,٠	٨,٤
١٨٥	٥,٤	٥,٧	٧,٤	٨,٦	٩,٩	٩,٠
٢٤٠	٦,٠	٦,٠	٨,٤	٩,٧	١١,٣	٩,٩
٣٠٠	٦,٤	٦,٨	٩,٢	١٠,٥	١٢,٤	١٠,٩
٤٠٠	٩,١	٩,١				
٥٠٠	١٠,٥	١٠,٥				
٦٣٠	١١,٨	١١,٨				

* قيمة التيار بالكيلوأمبير لفترة زمنية ١ ثانية

يعطي الجدول ٧ ـ ٧ دليلاً لاختيار قيم اللقط للمرحلات والقواطع ذات الإعتاق المباشر المتصلة على كابلات الخدمة والتغذية.

٧ ـ ٤: اختيار وضبط أجهزة الحماية ـ إرشادات عامة:

إن عملية اختيار وضبط أجهزة الحماية من المهام الشاقة التي تحتاج إلى خبرة ومهارة خاصة، كما تحتاج إلى صبر ودقة شديدة لحين إتمامها على أفضل صورة ممكنة. وقد يحتاج المهندس إلى إعادة تلك العملية عدة مرات حتى يحقق أفضل اختيار. إن السبب في ذلك هو أن تلك العملية تعترضها كثير من المتناقضات التي يجب التوفيق بينها. فالحماية الجيدة تتطلب انتقائية كاملة، أو على الأقل انتقائية على درجة عالية، مما يترتب عليه ضرورة إدخال تأخيرات زمنية متعمدة في عمل أجهزة الحماية. إن مثل هذه التأخيرات في فصل الخطأ قد تسبب أخطاراً على العاملين وكذلك على الأجهزة التي قد لا تحتمل تيارات القصر لفترات طويلة نسبياً. علاوة على ذلك، فإن الاختلافات الحادة والشديدة في شكل المنحنيات الخصائصية لأجهزة الحماية قد تمنع الانتقائية الكاملة في كثير من الأحيان أو قد تؤدي ـ على الجانب الآخر ـ إلى تجاوز الحماية Over protection، بمعنى وجود حماية زائدة دون داعٍ. إننا نجد في كثير من الأحيان صعوبة عمل جهاز حماية ثانوية على جميع مدى عمل الحماية الرئيسية. فمثلاً لا يستطيع جهاز الحماية الثانوية العمل كحماية ثانوية لتجاوز الحمل وتيارات القصر. إلا أنه ـ لحسن الحظ ـ يمكن الآن استعمال أجهزة الحماية الساكنة بمرونة أكبر لحل مثل تلك المشاكل كما سبق توضيحه في الباب الرابع.

تحتاج عملية التنسيق إلى توقيع منحنيات جميع أجهزة الحماية على خريطة واحدة وذلك باستخدام تيار مشترك بينها كما سيأتي بيانه فيما بعد في هذا الباب. إن هذا الشرط ضروري لكي يمكن المقارنة بين خصائص تلك الأجهزة في نفس الوقت. ويتم رسم تلك الخصائص على خريطة لوغاريتمية مزدوجة Log-log scale للزمن والتيار. ويمكن عن طريق الاستعانة بتلك الطريقة اختيار أفضل ضبط متاح لكل من الزمن والتيار.

جدول ٧ ـ ٧ دليل اختيار ضبط المرحلات وقواطع الإعتاق المباشر على الكابلات

توصيف الكابل وعمله	قيمة تيار الضبط المقترحة
أولاً: أجهزة التأخير الزمني: ١ ـ خطوط التغذية الرئيسية.	قدرة حمل التيار للكابل أو الأعلى مباشرة، مع الأخذ في الاعتبار السماح لتيارات بدء المحركات الكبيرة.
٢ ـ الكابلات المتصلاة بمحولات(١).	
أ ـ بدون حماية على الجانب الثانوي.	٢٥٠٪ من تيار المحول.
ب ـ بوجود حماية على الجانب الثانوي.	٦٠٠٪ من تيار المحول (مفاعلة المحول لا تزيد عن ٦٪). ٤٠٠٪ من تيار المحول (مفاعلة المحول بين ٦٪ و ١٠٪).
٣ ـ مرحلات حماية المولدات بملف منع يعمل بالجهد.	
أ ـ المولد له منظم جهد	٢٠٠٪ ـ ٢٥٠٪ من تيار المولد.
ب ـ المولد بدون منظم جهد.	١٥٠٪ ـ ٢٠٠٪ من تيار المولد.
٤ ـ مرحل ذو تأخير زمني طويل مناسب لبدء المحركات.	أكبر قليلاً من أقصى تيار تجاوز حمل مستمر.
ثانياً: الفصل الفوري (مرحلات وقواطع إعتاق مباشر):	
١ ـ الكابلات المتصلة بمحولات.	أعلى مباشرة من تيار الابتدائي المناظر لأقصى تيار قصر فوري غير متماثل على الثانوي على أساس معامل لا تماثل ١,٦ للجهد ٥٠٠٠ ڤولت وأعلى ومعامل لا تماثل ١,٥ للجهد الأقل. ويجب أن يكون الضبط قادراً على تجاوز التيار المندفع.
٢ ـ كابلات المحركات.	أعلى مباشرة من أقصى تيار قصر فوري غير متماثل من الممكن أن يساهم به المحرك عند حدوث قصر على الشبكة، مع أخذ معامل تماثل ١,٦ للجهد ٢٣٠٠ ڤولت وأعلى ومعامل تماثل ١,٥ للجهود الأقل. وفي حالة عدم توافر المعلومات استخدم تيار منع المحرك Locked rotor current مع إضافة ١٠٪ من تيار المحرك المقنن.

(١) راجع البند ٦ ـ ٣ ـ ١ لمزيد من التفصيل.

نورد فيما يلي بعضاً من الإرشادات الهامة الواجب تذكرها عند توقيع خريطة الحماية.

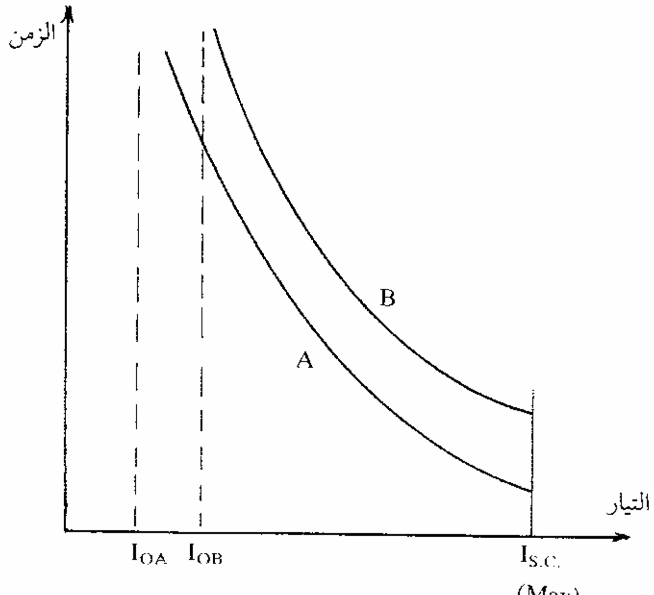
أولاً بالنسبة للمرحلات ذات الخصائص التعاكسية:

١ - يتم إعطاء منحنيات الزمن - التيار للمرحلات ابتداء من ١٥٠٪ من تيار اللقط عادة، حيث أن قيم التيار الأقل من ذلك لا يمكن الاعتماد على دقتها رغم أنها تسبب تشغيل المرحل حتى ١٠٠٪ من قيمة تيار اللقط (أقل تيار يسبب عمل المرحل).

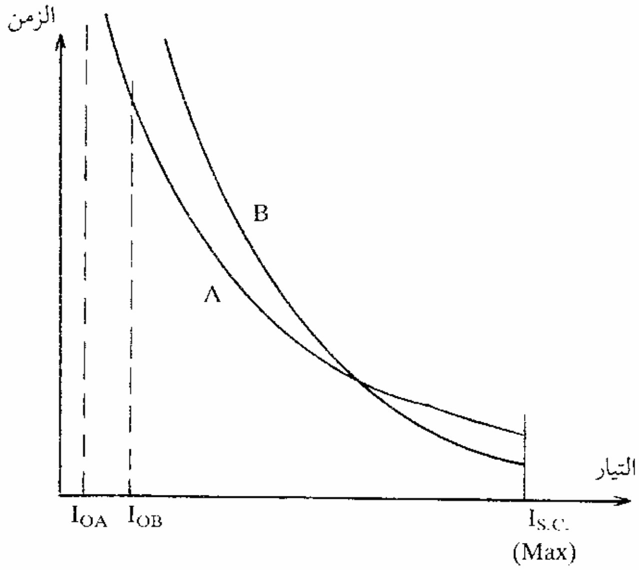
٢ - يجب أن نتذكر أنه عند حدوث قصر دائرة في أي نقطة على الشبكة فإن جميع المرحلات الواقعة ابتداء من تلك النقطة وحتى مصدر التغذية تشعر بمرور تيار القصر (على أساس أن الشبكة على صورة شعاعية Radial). وتبدأ تلك المرحلات فعلاً في حساب الزمن الذي سوف تقفل عنده دائرة إعتاق القاطع طالما أن تيار القصر قد تجاوز قيمة تيار اللقط للمرحل.

٣ - الأزمنة المقاسة على منحنيات المرحلات هي أزمنة قفل دائرة الإعتاق ولا تشمل زمن عمل قاطع الدائرة.

٤ - عند ضبط مرحلين من نفس النوع لتحقيق التنسيق عند أقصى تيار قصر فإن هذين المرحلين يحققان أيضاً انتقائية على جميع تيارات القصر المنخفضة إذا كان تيار اللقط للمرحل الأبطأ (مضروبة الزمني أكبر) أقل من تيار اللقط للمرحل الأسرع (مضروبة الزمني أقل). أما إذا كان تيار اللقط للمرحل الأبطأ أقل من تيار اللقط للمرحل الأسرع فإن المرحل الأبطأ سوف يسبق المرحل الأسرع عند التيارات المنخفضة من القصر. إن هذا يرجع إلى أن المنحنيين سوف يتقاطعان عند قيمة معينة من تيار القصر كما هو مبين بالشكل ٧ - ١٢. يبين الشكل ٧ - ١٢ - أ انتقائية كاملة بين المرحلين على كل مدى تيارات القصر. ويبين الشكل ٧ - ١٢ - ب انتقائية ناقصة بينهما.



(أ)



(ب)

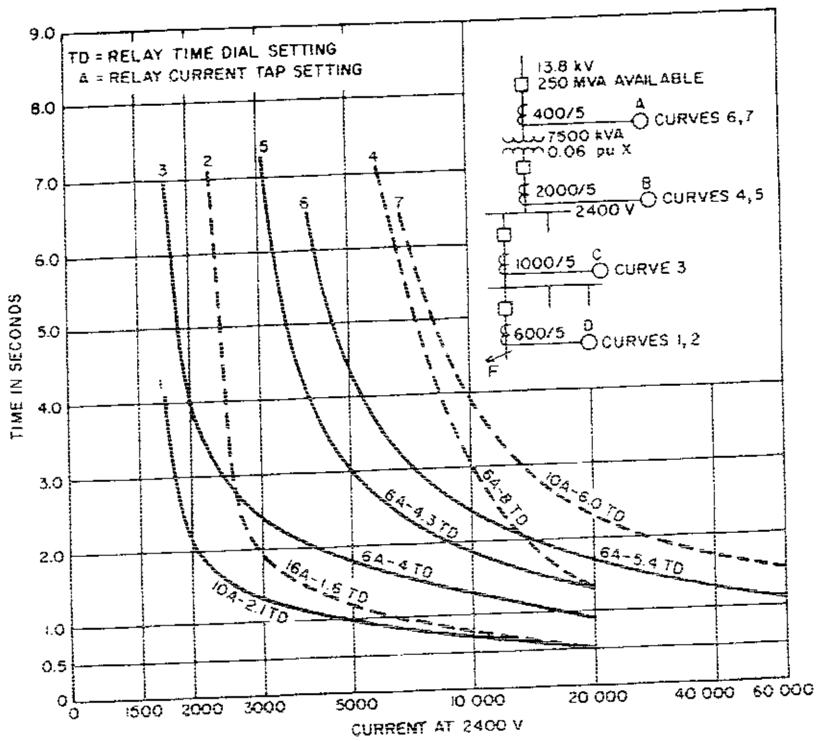
(أ) انتقائية كاملة.

(ب) انتقائية ناقصة.

شكل ٧ ـ ١٢

٥ ـ إن اختيــار درجـة التعــاكس المنــاسبــة لكـل مـرحــل (راجـع البند ٥ ـ ٢ ـ ٢) يتم وفقاً لتوقيع المنحنيات على خريطة التنسيق للتأكد من أنها تحقق الانتقـائية المطلوبة على كـل مدى تيـار القصر. معنى هـذا أن تحقيق الشروط الموجودة في (٤) لا يضمن التنسيق الكامل بين أكثر من مرحلين. يبين الشكل ٧ ـ ١٣ توضيحاً لذلك. عند حدوث قصر عنـد F فإن تيـار القصر $I_{S.C}$ يمكن حساب كما يأتي:

$(MVA)_b = 75$



Very Inverse Characteristic — Curve 4
Moderately Inverse Characteristic — Curves 1—3, 5—7

شكل ٧ ـ ١٣ المفاضلة بين الخصائص المختلفة للمرحلات

$$X_{S.c} = \frac{75}{250} + 0.06 \times \frac{75}{7.5} = 0.9 \text{ p.u.}$$

$$I_{S.C} = \frac{1}{0.9} \times \frac{75000}{\sqrt{3} \times 2.4} = 20000 \text{ A.}$$

وهو التيار الذي يشعر به المرحلات B, C, D.

التيار الذي يشعر به المرحل A هو

$$20000 \times \frac{2.4}{13.8} = 3478 \text{ A.}$$

وباختيار هامش زمني ٠,٤ ثانية مع ضبط المرحل D على أقل مضروب زمني (يناظر ٠,٥ ثانية) وتوقيع المنحنيات نجد أنه يمكن اختيار المنحنى (1) أو المنحنى (2) للمرحل D، حيث يحقق المنحنيان نفس شروط الحماية، إلا أن المنحنى (2) أبطأ وأقل حساسية من المنحنى (1). لو تغاضينا عن عامل البطء والحساسية فإن المنحنى (2) لا يمكنه أن يحقق انتقائية كاملة مع منحنى المرحل C، وهو المنحنى (3) إلا بخفض حساسية المرحل C نفسه.

تبين المنحنيات 4 و5 و6 و7 على الشكل ٧ ـ ١٣ ماذا يمكن أن يحدث عند اختيار المنحنى (4) للمرحل B. فبرغم أنه يحقق جميع متطلبات الحماية إلا أنه لا يتناسق تماماً مع المنحنى (6) للمرحل A. ويجب في تلك الحال إعادة ضبط المرحل A لكل من الزمن وتيار اللقط لكي يمكنه أن يتناسق مع المنحنى (4) للمرحل B. يبين المنحنى (7) المرحل A بعد إعادة ضبطه. يتضح بطبيعة الحال أن المنحنى (7) أقل حساسية من المنحنى (6) كما أنه أبطأ.

أما إذا استعملنا المنحنى (5) للمرحل B فإن المنحنى (6) للمرحل A يمكنه أن يتناسق معه في تلك الحال.

خلاصة ما وصلنا إليه في هذا المثال هو ما يأتي:

أ ـ يتحقق التنسيق الكامل بين المرحلات D وC وB وA بإحدى طريقتين.

i - استعمال المنحنيات 1 و3 و5 و6.

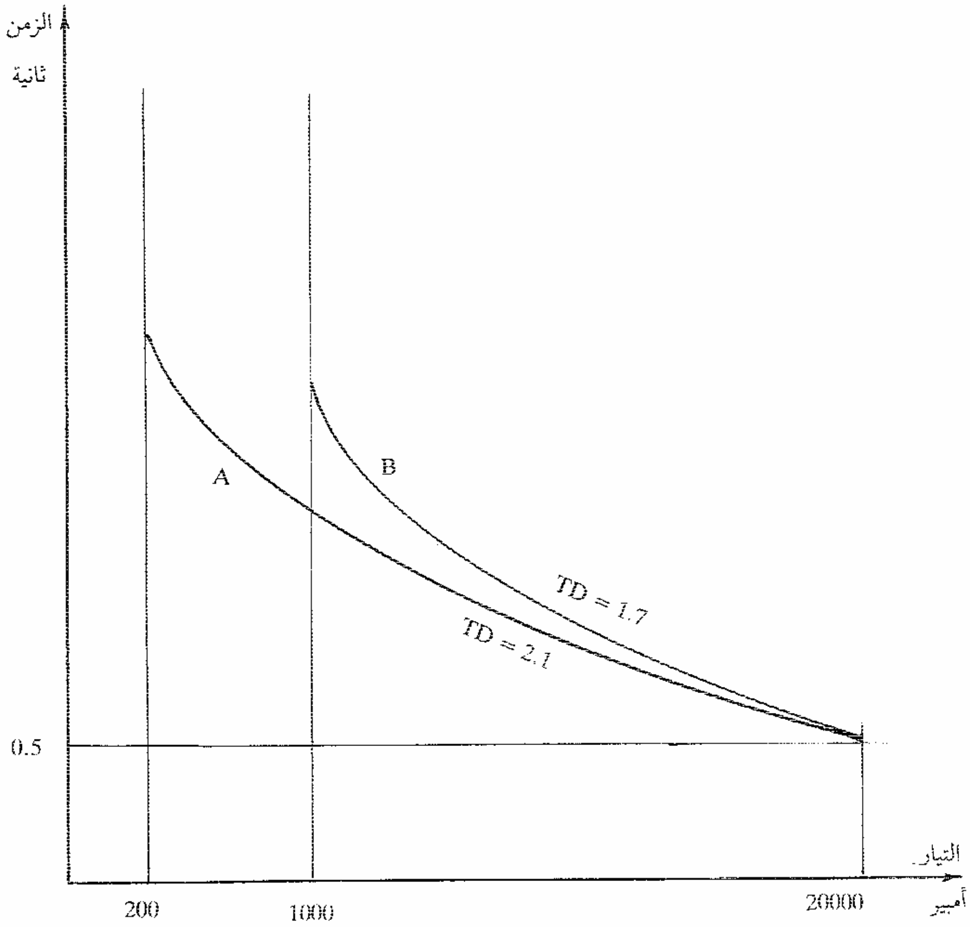
ii - استعمال المنحنيات 1 و3 و4 و7.

ب ـ لا يمكن تحقيق تنسيق كامل باستعمال المنحنى (2).

جـ ـ الخطة المذكورة في ١ (1 و 3 و 5 و 6) تعطي أداء أفضل من حيث السرعة والحساسية.

نود أن نذكر هنا أنه لم نكن لنستطيع أن نصل إلى تلك النتائج إلا بعد توقيع منحنيات المرحلات ودراستها على نفس الخريطة.

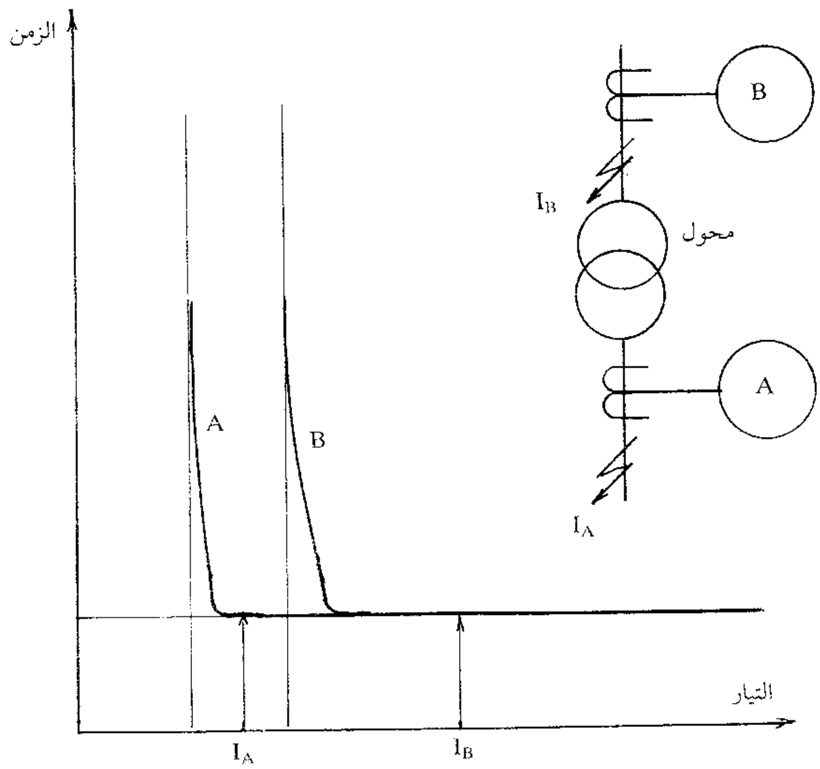
٦ ـ عندما يمكن تحقيق التنسيق المطلوب لنفس المرحل بطريقتين، الأولى عن طريق ضبط تيار اللقط لنفس المضروب الزمني والثانية عن طريق ضبط المضروب الزمني لنفس تيار اللقط، فمن الأفضل اختيار الطريقة التي تعطي تيار لقط أقل ومضروباً زمنياً أكبر. إن هذا الاختيار أفضل من تيار اللقط الأكبر مع مضروب زمني أقل حيث أن الاختيار الأول أكثر حساسية لتيارات القصر الصغيرة. يبين الشكل ٧ ـ ١٤ منحنيين يحققان زمن فصل أقصى تيار قصر (٢٠٠٠٠ أمبير) في زمن ٠,٥ ثانية، إلا أن المنحنى A يمكنه أن يفصل على تيارات قصر تبدأ من ٢٠٠ أمبير، بينما المنحنى B يفصل على تيارات قصر تبدأ من ١٠٠٠ أمبير. لاحظ أن المضروب الزمني للمنحنى A أعلى من المضروب الزمني للمنحنى B.



شكل ٧ ـ ١٤ المفاضلة بين طريقتي ضبط مرحل

ثانياً: بالنسبة للمرحلات ذات الزمن الفوري المحدد:

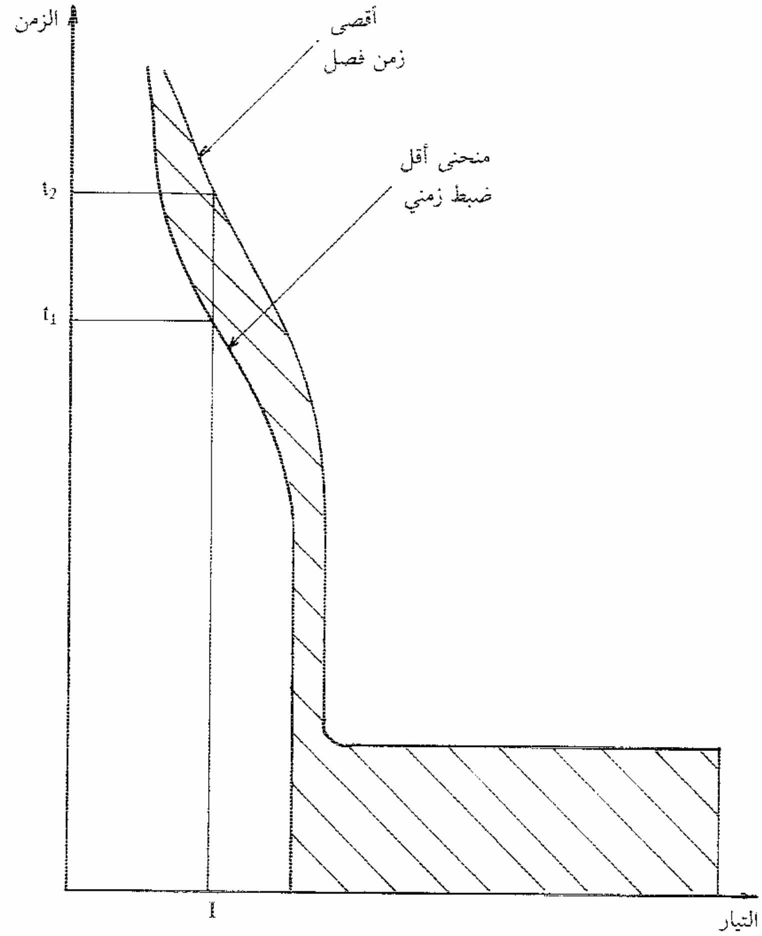
تعتمد الانتقائية بين مرحلين فـوريين بزمن محـدد ومتشابهين على ضبط تيار اللقط فقط. وتبعاً لذلك فإن تيار لقط المرحل الأقـرب من المصدر يكـون أكبـر من تيار لقط المـرحل الأبعـد. وحتى يتسنى ذلك يجب أن تكـون هنـاك مفاعلة محسوسة بين المرحلين حتى يكون هناك اختلاف بين تياري القصر عند كل منهما. يمكن تنفيذ تلك الطريقة في حالة وجود محولات حيث أنها تتميـز بمفـاعلة عاليـة. لا يمكن بطبيعـة الحال استعمـال تلك الطريقـة للتنسيق بين كابلين على طرفين متقابلين من قضيب توزيع. يبين الشكل ٧ ـ ١٥ انتقائية بين مرحلين فوريين بزمن محـدد.



شكل ٧ ـ ١٥ التنسيق بين مرحلين فوريين باستخدام فرق تياري القصر

ثالثاً: بالنسبة لقواطع الجهد المنخفض ذات الإعتاق المباشر:

يتم تمثيل خواص قواطع الجهد المنخفض ذات الإعتاق المباشر بمنطقة يحدها منحنيان كما سبق توضيحه في الباب الرابع. بالإشارة إلى الشكل ٧ ـ ١٦، يمثل المنحنى الأعلى العلاقة بين تيار القصر المار في القاطع I وأقصى زمن متوقع للفتح t_2. المنحنى الأسفل يعرف بإسم منحنى أقل ضبط زمني ومنه يمكن تحديد الفترة الزمنية t_1 والتي يمكن تعريفها كما يلي:



شكل ٧ ـ ١٦ قراءة خصائص قاطع الدائرة ذي الإعتاق المباشر

t_1 هي الفترة الزمنية من لحظة مرور التيار I في القاطع والتي يلزم خلالها أن تقل قيمة I عن نسبة معينة (٨٠٪ من قيمته تقريباً) حتى يتم التأكد من أن دائرة الإعتاق لن تعمل بسبب هذا التيار.

٧ ـ ٥ قراءة خرائط التنسيق:

قد يكون من المناسب لنا الآن أن نتعلم كيف نقرأ خريطة تنسيق كاملة، وذلك قبل أن نبدأ بتصميم مثل تلك الخرائط بأنفسنا.

يبين الشكل ٧ ـ ١٧ خريطة تنسيق كاملة (IEEE Std 141-1976)، وكل ما هو مطلوب منا في تلك المرحلة أن نفهم كل ما هو موقع عليها.

نقرأ أولاً مخطط الخط الواحد المرسوم على الخريطة وهو عبارة عن محول يأخذ تغذيته من شبكة بجهد ١٣,٨ ك. ڤ ويغذي بعد ذلك مجموعة من قضبان التوزيع السبيلية Busways مقنن حمل التيار لكل منها ٤٠٠ أمبير.

يمكن بطبيعة الحال حساب التيار المقنن الابتدائي والثانوي للمحول وهما ٤١,٨ أمبير للابتدائي و ١٢٠٠ أمبير للثانوي.

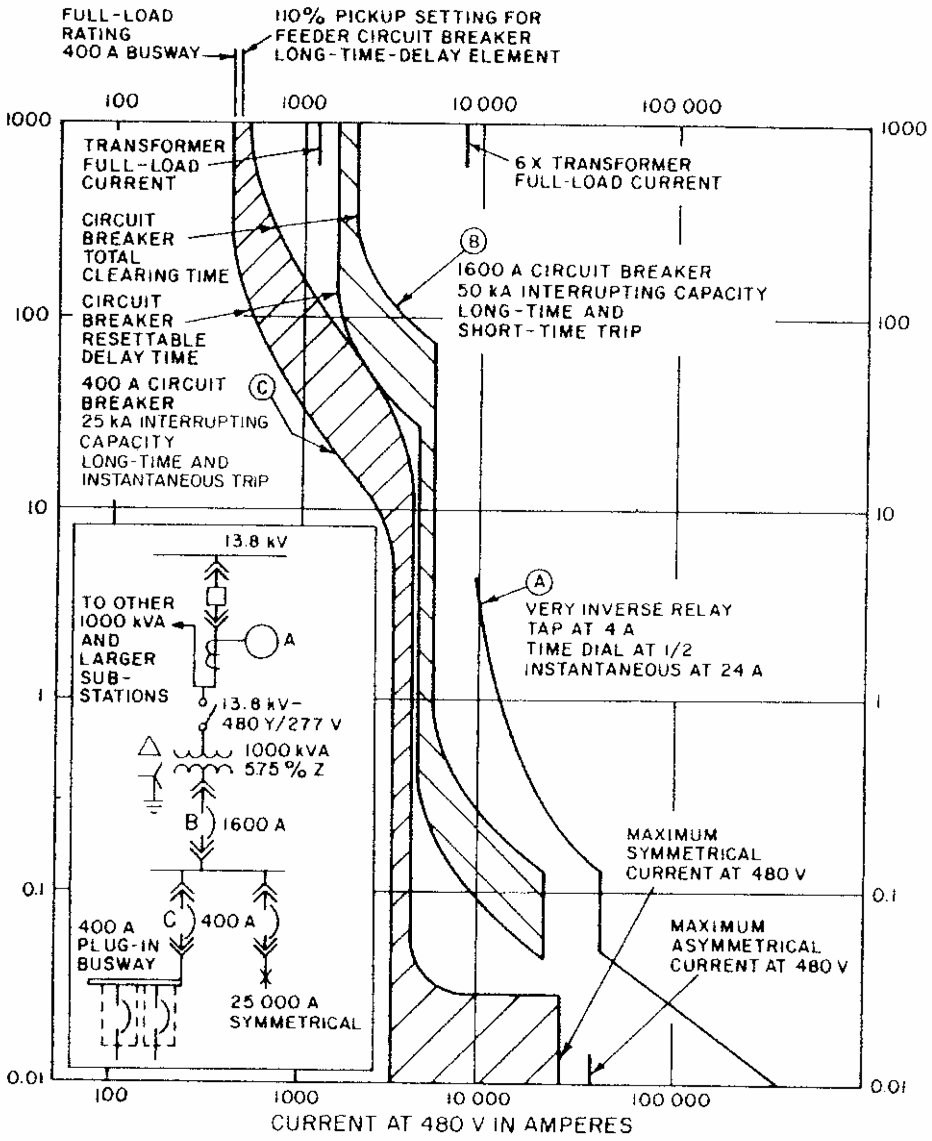
تعطي الخريطة أقصى تيار قصر متماثل على بداية قضيب التوزيع وهو يساوي ٢٥٠٠٠ أمبير ويمكن بطبيعة الحال حساب أقصى تيار قصر غير متماثل ذروي. باختيار معامل لا تماثل = ١,٤ ينتج أن قيمة هذا التيار تساوي تقريباً

$$25000 \times \sqrt{2} \times 1.4 = 49500 \text{ A}$$

تم اختيار نظام حماية المحول بقاطع ومرحل على الجانب الابتدائي وقاطع ذي إعتاق مباشر على الجانب الثانوي. ويتم حماية كابل تغذية قضيب التوزيع بقاطع ذي إعتاق مباشر.

تم إجراء اختيار المقننات والضبط كما يأتي:

أولاً : تم اختيار القاطع C بمقنن تيار ٤٠٠ أمبير وقدرة قطع تيار قصر ٢٥٠٠٠ أمبير. وتم ضبط تيار اللقط على ٤٤٠ أمبير (١١٠٪ من تيار التغذية المقنن) لجزء التأخير الزمني الطويل (تجاوز الحمل) وعلى



شكل ٧ ـ ١٧ خريطة تنسيق حماية بين قاطعين ومرحل

تيار لقط فوري ٢٠٠٠ أمبير، وتم رسم المنحنى بمنطقة الحماية حتى أقصى تيار قصر متوقع (٢٥٠٠٠ أمبير).

ثانياً : تم اختيار القاطع B بحيث يحقق الشروط الآتية:

أ - ألا يزيد مقننه عن ٣٠٠٪ من مقنن تيار المحول الثانوي، وذلك تبعاً للجدول ٦ ـ ٦.

ب - أن تكون له قدرة قطع تيار قصر غير متماثل لا تقل عن أقصى تيار قصر غير متماثل متوقع على الجانب الثانوي للمحول.

حـ - أن يتناسق مع منحنى القاطع C بحيث لا تتقاطع منطقة حماية B مع منطقة حماية C.

تبعاً لتلك الشروط فقد تم اختيار القاطع B بمقنن تيار ١٦٠٠ أمبير وقدرة قطع ٥٠٠٠٠ أمبير. تجدر الإشارة هنا أنه لا يمكن اختيار قاطع بمقنن تيار أقل من ذلك لسببين؛ حتى نتمكن من تحقيق الانتقائية الكاملة، وحتى تكون قدرة القاطع لقطع التيار أعلى من تيار القصر غير المتماثل. أما إذا وجدنا فعلاً قاطعاً يحقق هذين الشرطين وبمقنن تيار أقل من ١٦٠٠ أمبير وأعلى من ١٢٠٠ أمبير قليلاً فإن ذلك يحقق حماية أفضل خاصة في منطقة تجاوز الحمل. وقد تم اختيار القاطع B بتأخير زمني طويل (تجاوز حمل) وتأخير زمني قصير (قصر دائرة).

د - تم ضبط تيار لقط التأخير الزمني الطويل على حوالي ١٨٠٠ أمبير (أقل من ٣٠٠٪ من تيار الحمل الكامل للمحول تبعاً للجدول ٦ ـ ٦). وتم ضبط حماية قصر الدائرة على حوالي أربعة أمثال مقنن تيار القاطع (٦٥٠٠ أمبير تقريباً).

ثالثاً : تم اختيار المرحل A بحيث يحقق الشروط الآتية:

أ - ألا يزيد تيار اللقط عن ٦٠٠٪ من تيار الحمل الكامل على الجانب الابتدائي للمحول (حوالي ٢٥٠ أمبير). وقد تم توقيع تلك القيمة أعلى الخريطة كما هو مبين بعد إسناد تلك القيمة إلى الجهد ٤٨٠ ڤولت أي أنها تساوي عند ذلك الجهد

$$250 \times \frac{13.8}{0.48} \simeq 7180 \text{ A}$$

ب ـ أن يتناسق مع القاطع B.

جـ ـ أن يكون منحنى المرحل أعلى من نقطة تيار المغنطة المندفع. ورغم أن ذلك الشرط غير موقع على الخريطة فيمكن التحقق من ذلك كما يأتي:
تيار المغنطة المندفع يساوي ثمانية أمثال تيار الحمل الكامل على الابتدائي، أي أنه يظهر على مقياس رسم الجانب الثانوي (٤٨٠ ڤولت) بما يساوي

$$8 \times \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0.480} = 9622 \text{ A}$$

والنقطة المناظرة له على الخريطة هي نقطة إحداثي الزمن لها ٠,١ ثانية وإحداثي التيار هو التيار السابق. ومن الواضح أن منحنى المرحل A أعلى من تلك النقطة.

د ـ أن يكون منحنى المرحل أسفل نقطة ANSI على الأقل (راجع البند ٦ ـ ٣).

وهذه النقطة يناظرها تيار مقداره منسوباً إلى ٤٨٠ ڤولت

$$0.58 \times 41.8 \times \frac{100}{5.75} \times \frac{13.8}{0.48} = 12122 \text{ A}$$

وهذه النقطة غير موقعة أيضاً على الخريطة (التيار السابق وزمن قدره ٣,٧٥ ثانية تبعاً للجدول ٦ ـ ٧) ولكن يمكن التحقق أيضاً من أن المرحل A يحقق هذا الشرط بالكاد.

وفي النهاية فإننا نلاحظ أن تلك الحماية السابقة لا تحقق حماية رئيسية وحماية ثانوية على جميع مدى الحماية. فالقاطع B لا يمكنه عمل حماية ثانوية للقاطع A في معظم مدى حماية تجاوز الحمل. وكذلك فإن المرحل A لا يمكنه عمل حماية تجاوز حمل بالمرة وإنما هو فقط لحماية قصر الدائرة. إن هذا يؤكد ضرورة الحاجة إلى مرونة أكبر في تشكيل المنحنيات كما سبق توضيحه في الباب الرابع عن طريق استعمال قواطع إعتاق مباشر بوحدات إعتاق إلكتروني.

٧ ـ ٦ خطوات التنسيق:

نقدم فيما يلي الخطوات العامة المتبعة في إجراء عملية التنسيق من البداية حتى إتمام رسم خريطة التنسيق بالكامل ومعرفة مدى تحقيقها لخطة الحماية.

١ ـ ارسم مخطط الخط الواحد للشبكة وضع عليه مقننات الأجهزة وأحجام الكابلات وكذلك الأحمال الرئيسية ومفاعلات أجهزة الشبكة كلها.

٢ ـ حدد مواضع القصر المطلوب دراستها. هذه المواقع تكون عند مداخل ومخارج قضبان التوزيع عادة وكذلك عند بدايات كابلات التغذية. احسب تيارات القصر عند تلك المواقع تبعاً لما جاء في البند ٧ ـ ٢ ـ ١.

٣ ـ حدد أجهزة الحماية المطلوبة (مرحلات ـ مصهرات ـ قواطع إعتاق مباشر). يتم بعد ذلك اختيار تلك الأجهزة تبعاً لما سبق توضيحه في هذا الباب والأبواب السابقة.

٤ ـ يتم بعد ذلك ضبط تيارات لقط وزمن عمل الأجهزة التي تم اختيارها ثم توقيع منحنياتها الخصائصية مع الأخذ في الاعتبار جميع ما ورد في هذا الكتاب.

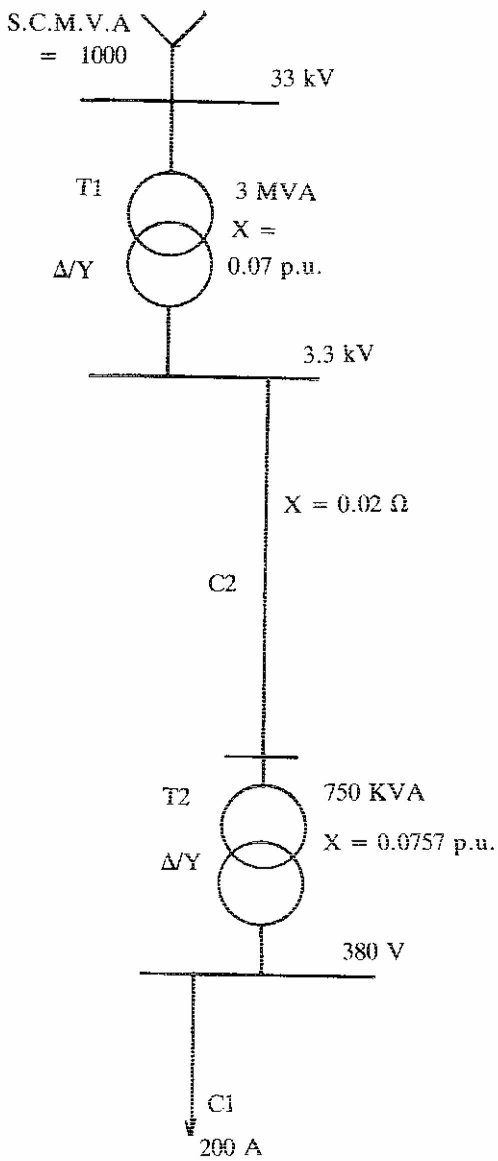
٥ ـ ادرس الخريطة بعد التوقيع النهائي لمنحنيات جميع الأجهزة لمعرفة مدى تحقيق تلك الأجهزة لمتطلبات الحماية والتنسيق والانتقائية المطلوبة.

٦ ـ من المحتمل أن نحتاج إلى إعادة الخطوات ٣ و ٤ و ٥ عدة مرات عن طريق تغيير ضبط الأجهزة أو ربما تغيير جهاز الحماية بالكامل للحصول على التنسيق المطلوب.

سوف نوضح الخطوات السابقة بتفصيل كامل في المثال الآتي.

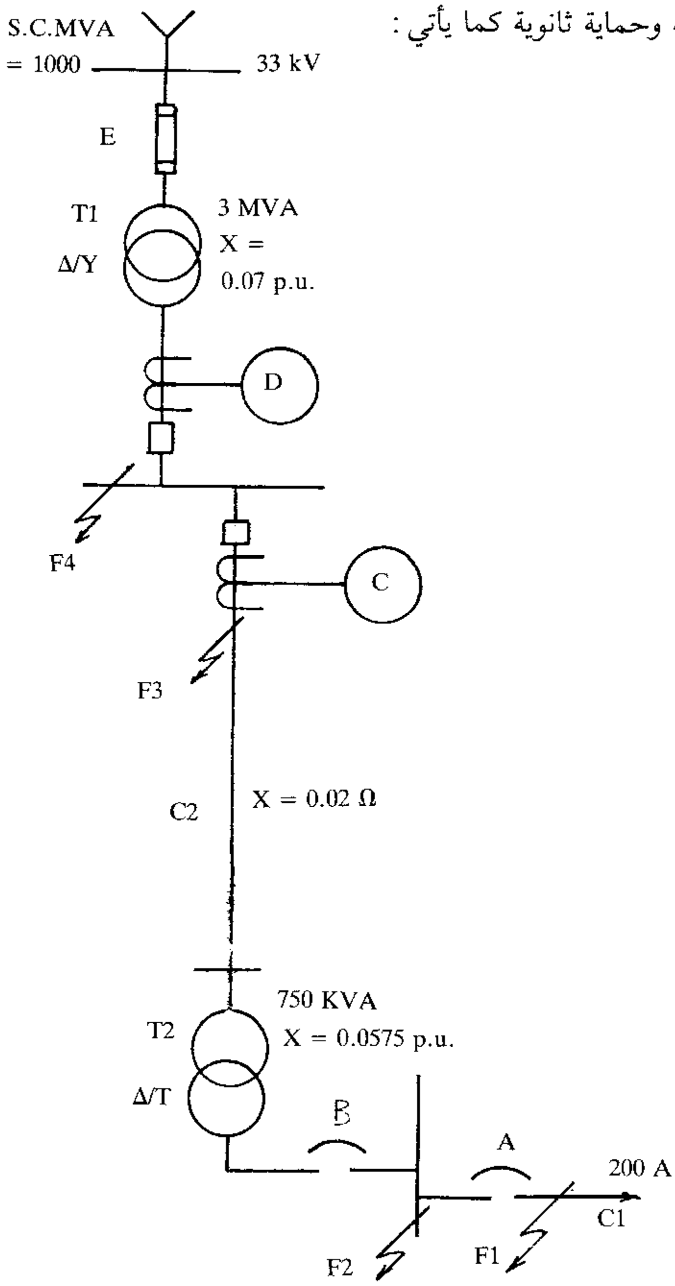
٧ ـ ٧ التنسيق خطوة ـ بخطوة:

يبين الشكل ٧ ـ ١٨ مخطط الخط الواحد للشبكة المراد حمايتها وعليه جميع البيانات المتاحة.



شكل ٧ ـ ٨ مخطط الخط الواحد للشبكة

أولاً : تم اختيار مواضع دراسة قصر الدائرة F1 و F2 و F3 و F4، وتم تحديد أجهزة الحماية المطلوبة كما هو موضح بالشكل ٧ ـ ١٩ . هذا الاختيار تم تبعاً لهدف معين هو أن كل خطأ من الأخطاء السابقة له حماية رئيسية وحماية ثانوية كما يأتي :



شكل ٧ ـ ١٩ مواقع القصر وأجهزة الحماية للشكل ٧ ـ ١٨

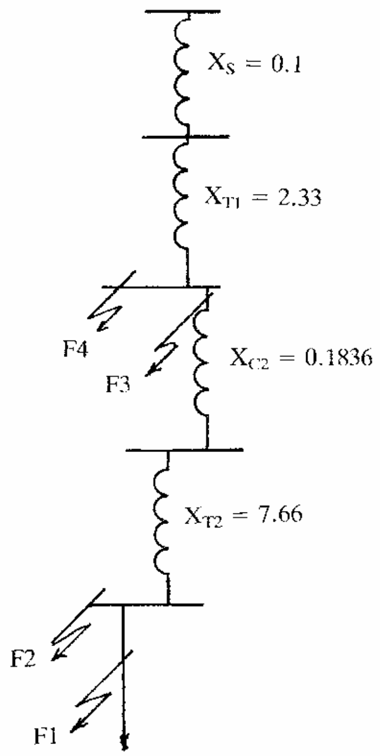
أ ـ القصر F1 يتم إزالته بحماية رئيسية هي قاطع الإعتاق المباشر A، وحماية ثانوية هي قاطع الإعتاق المباشر B.

ب ـ القصر F2 يتم إزالته بحماية رئيسية هي قاطع الإعتاق المباشر B، وحماية ثانوية هي المرحل C (وقاطع الدائرة التابع له).

جـ ـ القصر F3 يتم إزالته بحمـاية رئيسيـة هي المرحـل C وحمايـة ثانـ المرحل D.

د ـ المحول T1 يتم حمايته من القصر F4 بحماية على الجانب الثانوي المرحل D وحماية على الجانب الابتدائي وهي المصهر E.

نحسب الآن تيارات القصر المتمـاثلة عند مـواقع القصـر الأربعة. شكل ٧ ـ ٢٠ مخطط المفاعلة للشبكة مع قيم مفاعلات الأجهزة ... على أساس ١٠٠ م.ف.أ، وكذلك مواقع قصر الدائرة المختارة.



شكل ٧ ـ ٢٠ مخطط المفاعلة وقيم المفاعلات بالوحدة على أساس ١٠٠ م.ف.

باختصار الدائرة عند كل موقع على حـدة نحصل على مـا يأتي (راجـع الشكل ٧ ـ ٢١).

ـ تيار القصر المتماثل عند F1 و F2 هو

$$\text{Sym } I_{r.m.s.1} = 14790 \text{ A, at } 380 \text{ V}$$

ـ تيار القصر المتماثل عند F3 و F4 هو

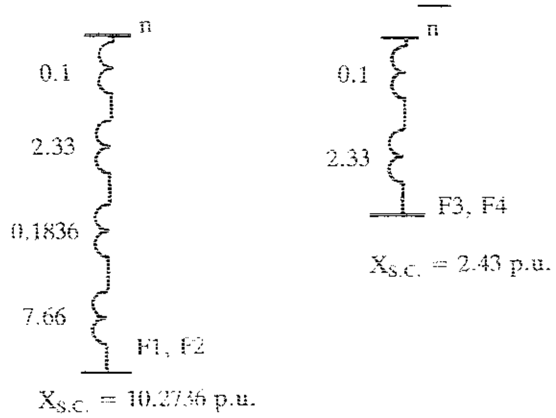
$$\text{Sym } I_{r.m.s.2} = 7200 \text{ A, at } 3.3 \text{ KV}$$

نحسب بعد ذلك تيارات القصر الذروية للفصل الفوري باتخاذ عامل لا تماثل = ١,٤

$$\text{assym } I_{S.C.1} \text{ (Peak)} = \sqrt{2} \times 1.4 \times 14790 = 29195 \text{ A}$$

$$\text{assym } I_{S.C.2} \text{ (Peak)} = \sqrt{2} \times 1.4 \times 7200 = 14253 \text{ A}$$

ثانياً : تجهيز مقياس رسم التيار على خريطة التنسيق. تعمل الشبكة وأجهزة الحمـاية على ثـلاثـة جهـود مختلفـة (٣٣ ك.ف، ٣,٣ ك.ف، ٣٨٠ ڤـولت). ولكي يمكن تـوقيـع منحنيـات الحمـايـة على نفس الخريطة يجب إسناد جميع التيارات إلى جهد واحـد يتم اختياره من بين جهود الشبكة، وليكن ٣٨٠ ڤولت. يتم إسناد التيـارات إلى ذلك الجهد كما يأتي:



شكل ٧ ـ ٢١ مفاعلة قصر الدائرة للمواقع المختلفة في شكل ٧ ـ ٢٠

i - التيار المكتوب على الخريطة هو قيمة التيار المار في مكونات الشبكة على الجهد ٣٨٠ ڤولت.

ii - أي تيار على الجهد ٣,٣ أو على الجهد ٣٣ ك.ڤ يجب تحويله أولاً إلى ما يناظره على الجهد ٣٨٠ ڤولت كما يأتي:

ـ التيار المحسوب على الجهد ٣,٣ ك.ڤ يُضرب في الكمية

$$\frac{3300}{380} = 8.684$$

قبل توقيعه على الخريطة ثم يوقع بعد ذلك.

ـ التيار المحسوب على الجهد ٣٣ ك.ڤ يضر في الكمية

$$\frac{33000}{380} = 86.84$$

قبل توقيعه على الخريطة ثم يوقع بعد ذلك.

نحدد بعد ذلك أقصى مدى لتيارات القصر منسوباً إلى الجهد ٣٨٠ ڤولت كما يأتي:

ـ منسوب تيار القصر على شبكة التغذية هو

$$\frac{1}{0.1} \times \frac{100000}{\sqrt{3}\,(33)} = 17496 \text{ A at } 33 \text{ KV}$$

وهذا التيار لن يوقع على الخريطة.

ـ أقصى تيار قصر متماثل على الجهد ٣٨٠ ڤولت هو 14790 A.

ـ أقصى تيار قصر ذروي غير متماثل على الجهد ٣٨٠ ڤولت هو 29195 A.

ـ أقصى تيار قصر متماثل على الجهد ٣,٣ منسوباً إلى الجهد ٣٨٠ ڤولت هو 62525 A.

ـ أقصى تيار قصر ذروي غير متماثل على الجهد ٣,٣ منسوباً إلى الجهد ٣٨٠ ڤولت هو

$$14253 \times 8.684 = 123774 \text{ A}$$

الخطوة التالية هي تحديد نقط التيارات الرئيسية على الخريطة وهي ما يأتي :

أ ـ نقطة ANSI لكل محول.

ب ـ نقطة تيار المغنطة المندفع لكل محول.

جـ ـ ستة أمثال الحمل الكامل لكل محول

المحول T1 :

$I_{f.l}$= 52.48 A	at 33 KV
= 524.8 A	at 3.3 KV
= 4558 A	at 380 V

(جدول ٦ ـ ٧)

ANSI Point: 14.4 × $I_{f.l}$ × 0.58 for a period of 5 sec.

= 438.3 A	at 33 KV
= 4383 A	at 3.3 KV
= 38063 A	at 380 V

Inrush current: 12 $I_{f.l}$ for a period of 0.1 sec.

	= 630 A	at 33 KV
	= 6300 A	at 3.3 KV
	= 54688	at 380 V
6 $I_{f.l}$:	= 314.9	at 33 KV
	= 3149	at 3.3 KV
	= 27345	at 380 V

المحول T2 :

$I_{f.l}$= 131.2 A	at 3.3 KV
= 1140 A	at 380 V

ANSI Point: 17.4 × $I_{f.l}$ × 0.58 for a period of 3.75 sec.

= 1324 A	at 3.3 KV
= 11500 A	at 380 V

Inrush current: $8\ I_{f.l}$ for a period of 0.1 sec.

	= 1050 A	at 3.3 KV
	= 9115 A	at 380 V
$6\ I_{f.l}$:	= 787.2 A	at 3.3 KV
	= 6836 A	at 380 V

بفحص قيم التيارات السابقة كلها نجد أن أقصى تيار يظهر على جهد ٣٨٠ ڤولت (جهد الرسم) هو حوالي ١٢٤ كيلوأمبير، أي أن محور التيار يجب أن يمتد إلى تلك القيمة.

يبين الشكل ٧ ـ ٢٢ الخريطة بمقياس الرسم وموقعاً عليها جميع النقط السابقة. وسوف تظهر هذه النقط في خريطة التنسيق فيما بعد دون الإشارة إلى أسمائها بهدف إيضاح الأشكال على الخريطة.

ثالثاً: اختيار المقننات وقيم الضبط.

كما ذكرنا من قبل، إن عملية الاختيار والضبط لأجهزة الحماية هي عملية خبرة وفلسفة خاصة. وعلى ذلك فمن الممكن تحقيق عدة اختيارات تصلح كلها في عملية التنسيق. ما سوف نقوم به الآن هو إحدى هذه الاختيارات.

نبدأ عادة من أبعد نقطة من المصدر، أي نقطة الحمل.

ـ قاطع الإعتاق المباشر A:

هذا القاطع يحمي كابل تغذية بمقنن قدرة حمل تيار مقداره ٢٠٠ أمبير. وأقصى تيار قصر غير متماثل يمر خلاله حوالي ٢٩ كيلوأمبير. ويقوم هذا القاطع بحماية تجاوز حمل وتيارات قصر الدائرة. باتباع البيانات الواردة في الجدول ٧ ـ ٧ مع مراعاة ما يأتي:

i - من الأفضل أن يكون هذا القاطع أسرع ما يمكن بالنسبة لتيارات القصر.

ii - التأخير الزمني لا يقل عن ٥ أضعاف تيار الحمل الكامل (أقصى قيمة لتيار التأخير الزمني).

أي أن الإعتاق الفوري يبدأ من ١٠٠٠ حتى يمكن تخطي تيارات بدء المحركات.

يمكن بذلك اختيار القاطع A بالمقننات والضبط كما يلي:

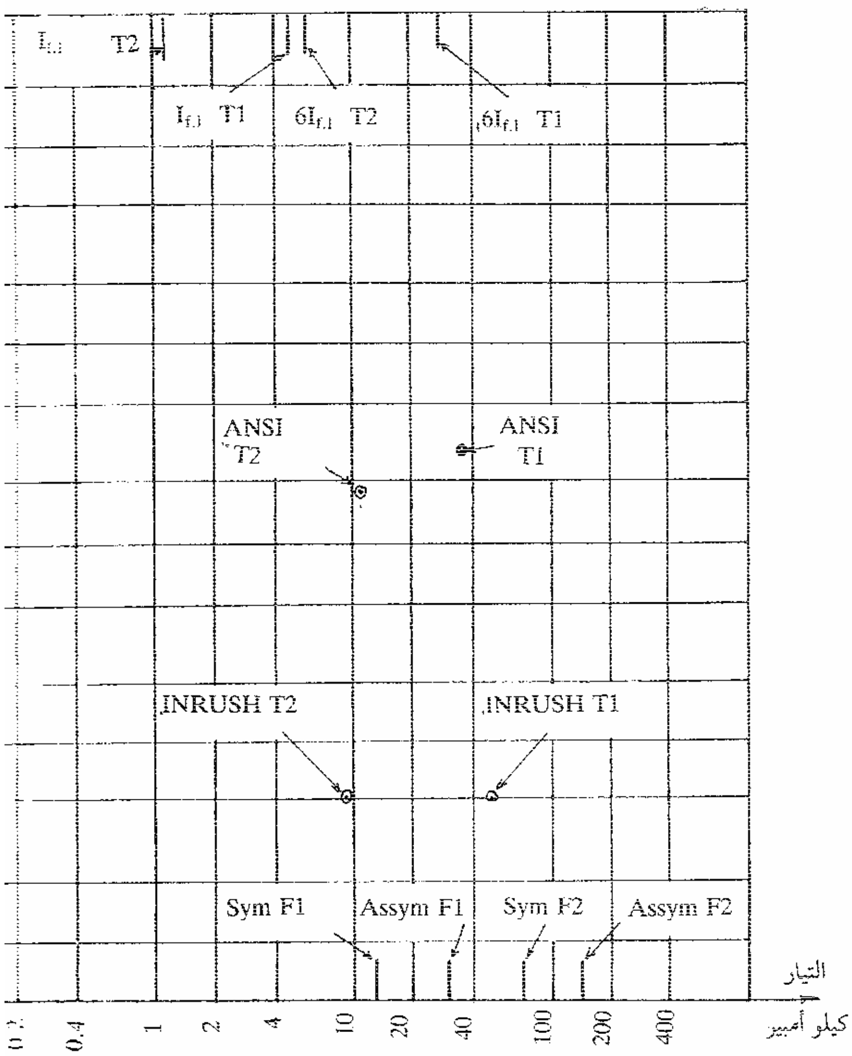
- مقنن القاطع = ٢٠٠ أمبير - قدرة قطع التيار = ٣٢ كيلوأمبير.
- ضبط تجاوز الحمل (تأخير زمني طويل) = ٢٠٠ أمبير.
- إعتاق فوري = ١٠٠٠ أمبير.

يبين الشكل ٧ ـ ٢٣ المنحنى الخصائصي لهذا القاطع.

ـ قاطع الإعتاق المباشر B:

هذا القاطع على الجانب الثانوي للمحول T2. تيار الحمل الكامل للمحول هو ١١٤٠ أمبير. يتم اختيار القاطع بمراعاة الشروط الواردة بالجدول ٦ ـ ٦ كما يأتي:

- مقنن القاطع = ١٢٠٠ أمبير - قدرة قطع التيار = ٥٠ كيلوأمبير.
- ضبط تيار تجاوز الحمل (تأخير زمني طويل) = ١٢٠٠ أمبير.
- تأخير زمني قصير = ٢ × تيار القاطع المقنن = ٢٨٠٠ أمبير.
- إعتاق فوري = ٣ × تيار القاطع المقنن = ٣٦٠٠ أمبير.



شكل ٧ ـ ٢٢ مقياس الرسم والنقط الرئيسية

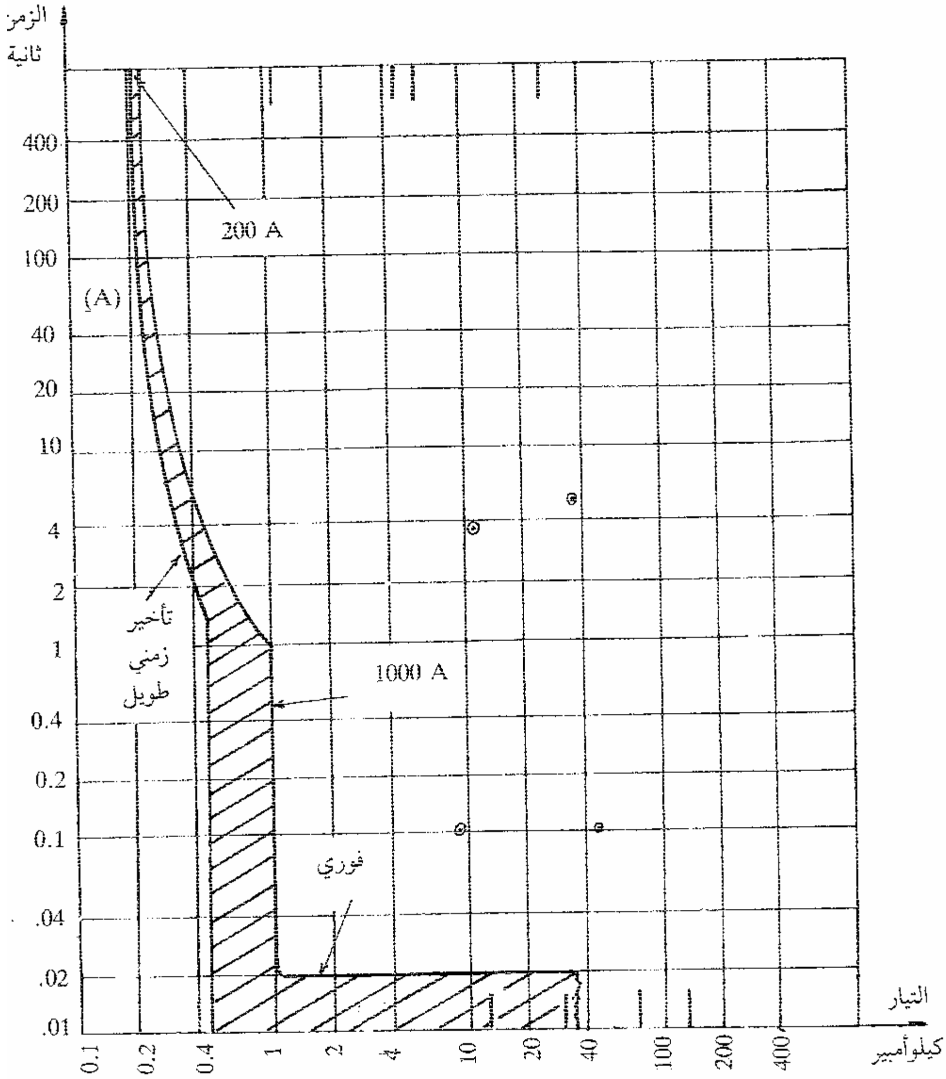
يبين الشكل ٧ ـ ٢٤ منحنى هذا القاطع.

ـ المرحل C:

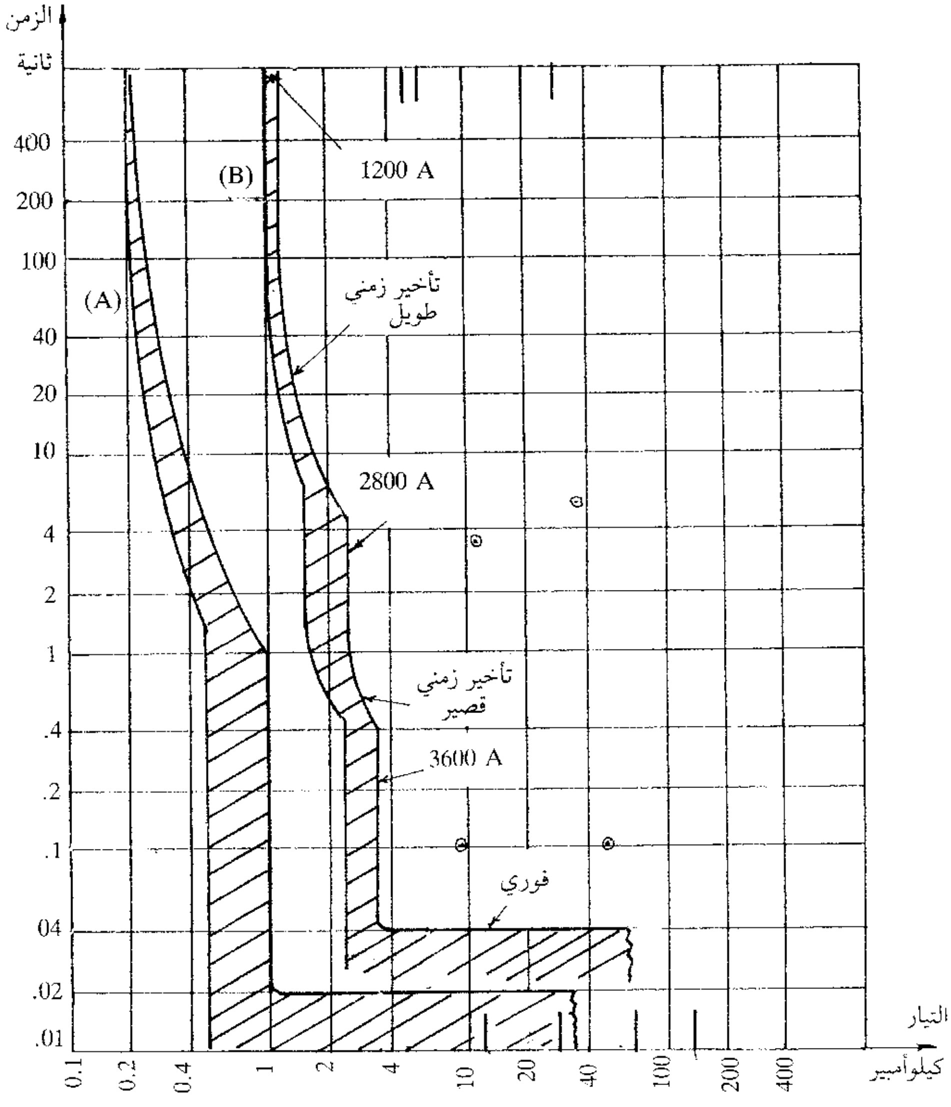
هـذا المرحـل يقـوم بتشغيـل قـاطـع الـدائـرة على الجـانب الابتـدائي للمحـول T2. تيـار الحمـل الكـامـل للمحـول على الجـانب الابتـدائي ١٣١,٢ أمبير. معنى ذلك أن يتم ضبط المرحل C كما يأتي:

- نسبة تحويل محول التيار ١٠٠/٥.
- تيار اللقط للمرحل = ٨ أمبير، وهو يناظر تياراً يساوي ١٦٠ أمبير على الجانب الابتدائي للمحول T2 (١٣٩٠ أمبير على جهد ٣٨٠ ڤولت).
- نختار مرحلاً ذا خاصية تعاكسية فائقة (من الشكل ٥ ـ ١٢) ونختار المضروب الزمني الأقل الذي يحقق شرطي الحماية وهما أن يكون المنحنى تحت نقطة ANSI وفوق نقطة تيار المخنطة المندفع للمحول T2. المضروب الزمني (٨) يحقق هذين الشرطين. يمكن بذلك توقيع المنحنى كما هو مبين بالشكل ٧ ـ ٢٥. لاحظ هنا أن مضروب التيار على المحور الأفقي في الشكل ٥ ـ ١٢ يتم ضربه في ١٦٠ أمبير لكي يتحول إلى قيمة التيار الفعلي المار في القاطع. أما على الشكل ٧ ـ ٢٥ فتضرب القيمة الناتجة في نسبة التحويل. فمثلاً مضروب التيار ٢ يناظره تيار على الخريطة مقداره.

$$2 \times 160 \times \frac{3.3}{0.38} = 2779 \text{ A}$$



شكل ٧ – ٢٣ اختيار وضبط القاطع A للشكل ٧ ـ ١٨



شكل ٧ ـ ٢٤ اختيار وضبط القاطع B للشكل ٧ ـ ٢٣

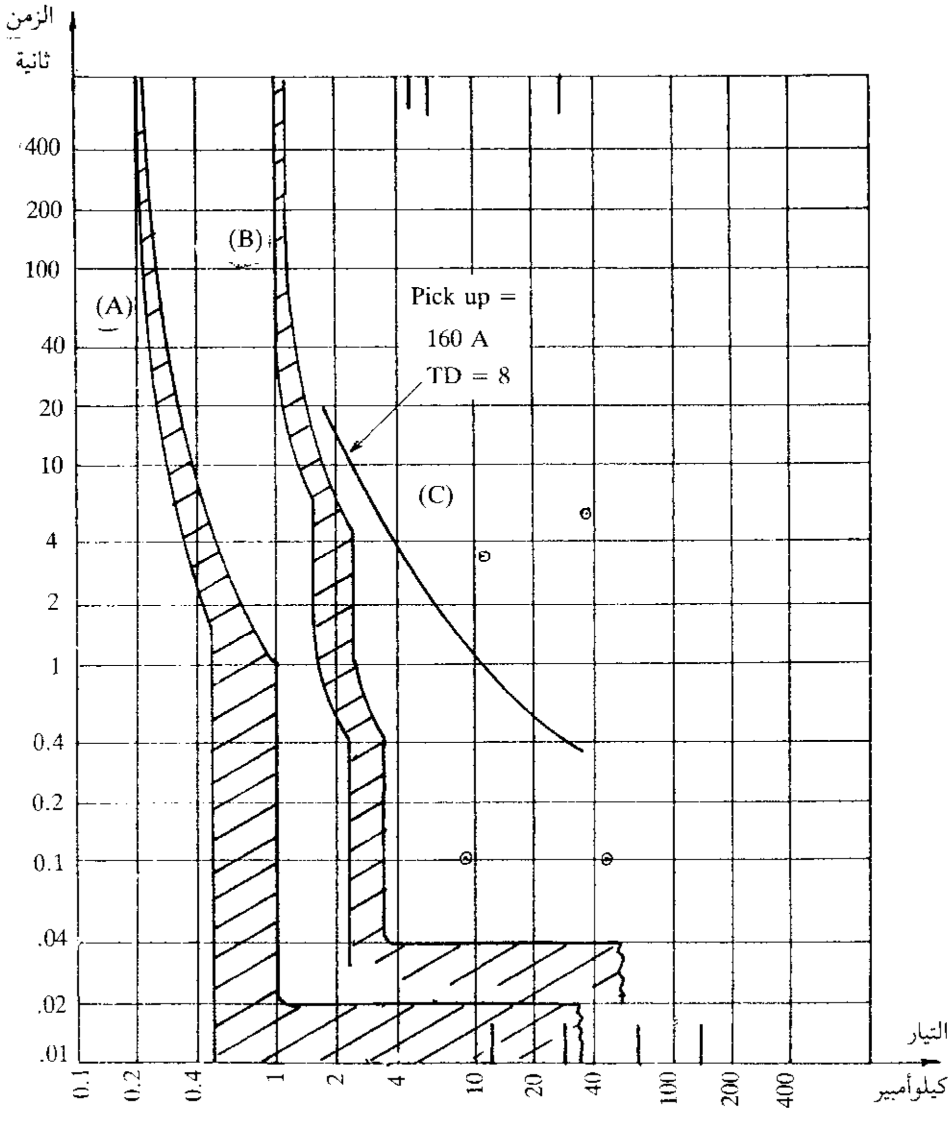
ـ المرحل D :

المرحل D يقوم بعمل الحماية على الجانب الثانوي من المحول T1. تيار الحمل الكامل للمحول T1 على الجانب الثانوي ٥٢٥ أمبير. يمكن بذلك ضبط المرحل D كما يأتي:

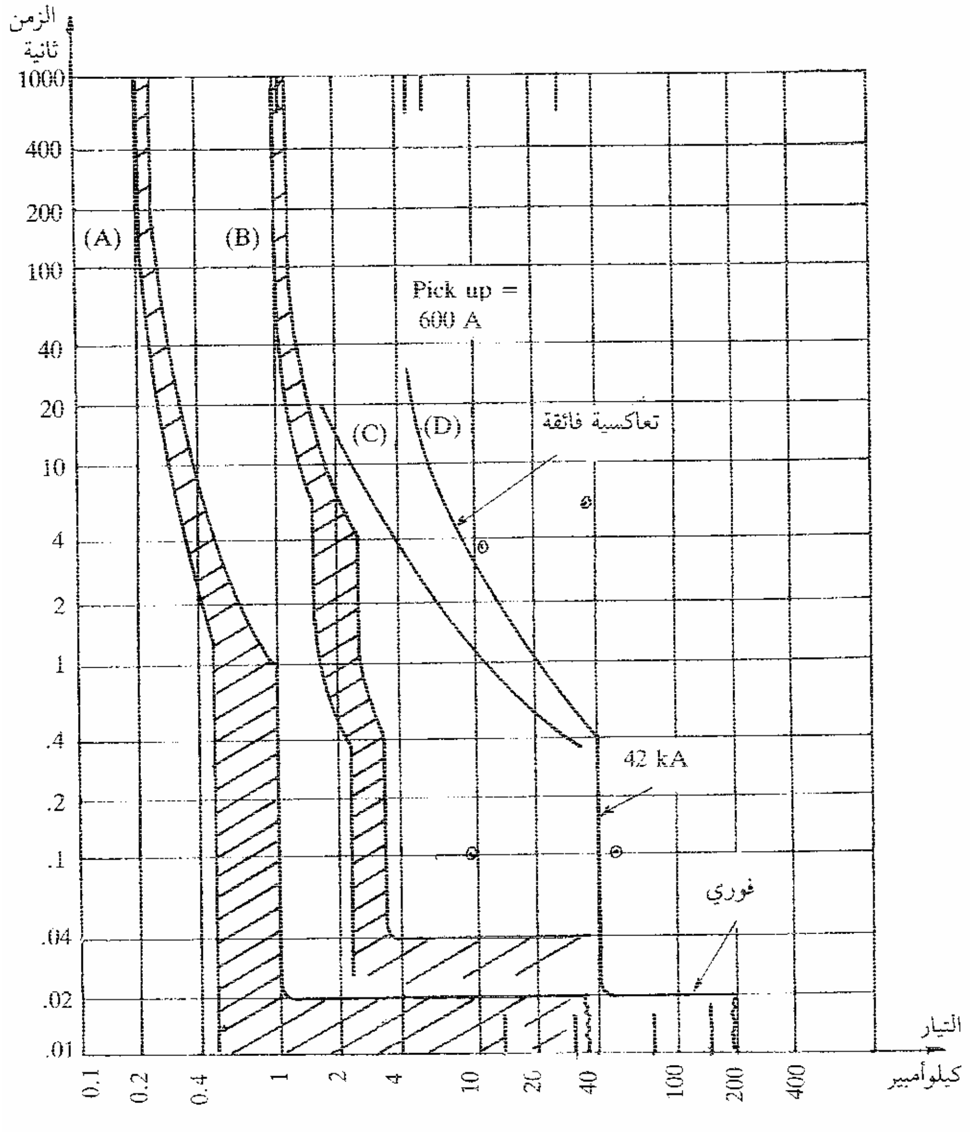
- نسبة تحويل محول التيار ٥/٥٠٠.
- تيار اللقط للمرحل = ٦ أمبير، وهو يناظر تيار يساوي ٦٠٠ أمبير على الجانب الثانوي للمحول T1 (٥٢١٠ أمبير على جهد ٣٨٠ ڤولت).
- نختار مرحلاً ذا تعاكسية فائقة وإعتاق فوري ونختار أقل مضروب زمني ممكن بشرط ألا يتقاطع منحنى المرحل D مع منحنى المرحل C. المضروب الزمني المناسب هو (٥). يمكن بذلك توقيع منحنى المرحل D على الشكل ٧ ـ ٢٥ كما هو مبين بالشكل ٧ ـ ٢٦. لاحظ أن تيار الإعتاق الفوري حوالي ثمانية أمثال تيار اللقط.

ـ المصهر E :

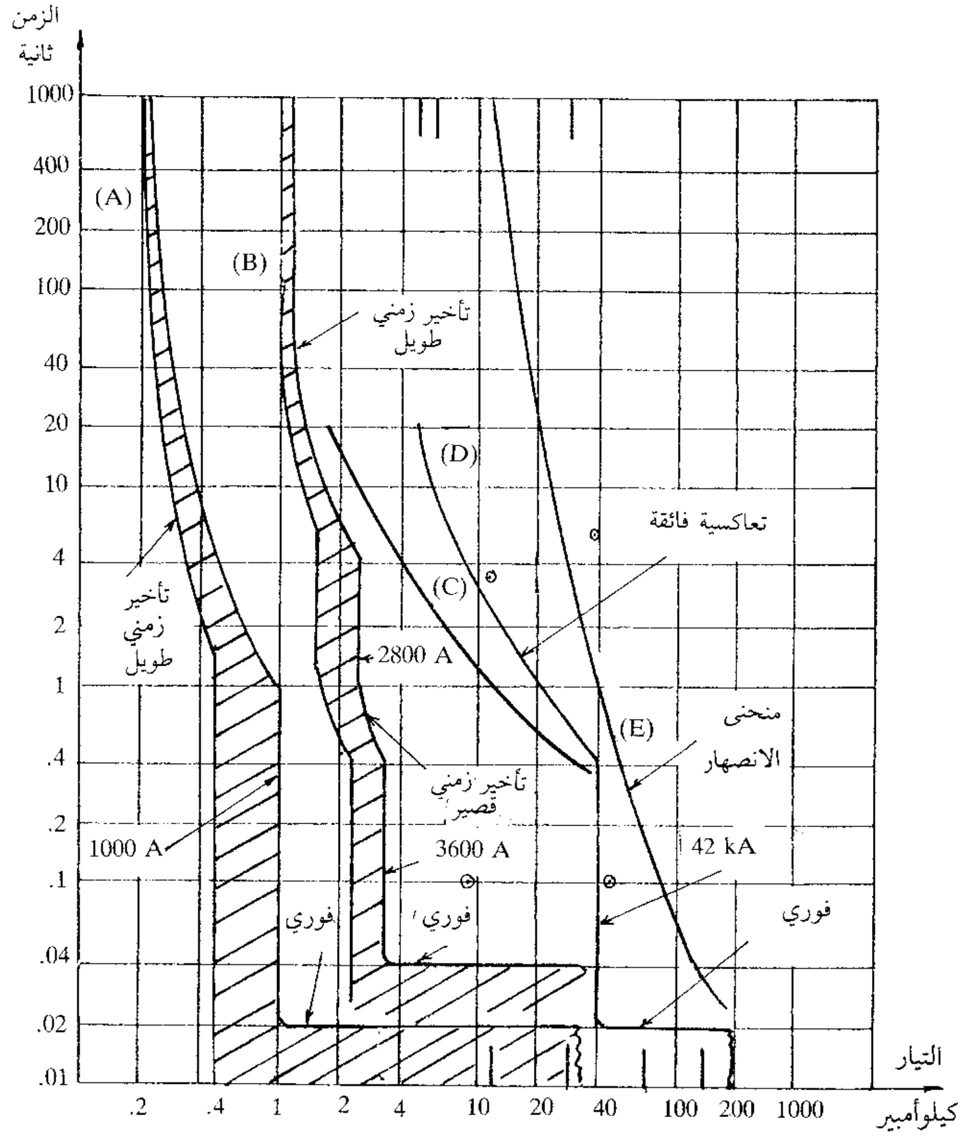
المصهر E يحمي الجانب الابتدائي من المحول T1. تيار الحمل الكامل للمحول ٥٢,٥ أمبير على الجانب الابتدائي (٣٣ ك.ف). رغم أنه يمكن حماية المحول باستخدام مصهر بمقنن ٨٠ أمبير، إلا أن هذا المقنن لا يفي بباقي شروط الحماية وكذلك شرط التنسيق مع الحماية على الجانب الثانوي. نختار لذلك مصهر بمقنن ١٠٠ أمبير وقدرة قطع ٢٠٠٠ أمبير بحيث يكون المصهر من النوع المحدد للتيار (شكل ٣ ـ ١٧). نوقع الآن منحنى زمن الانصهار لهذا المصهر على الشكل ٧ ـ ٢٦ فنحصل على الخريطة الكاملة للتنسيق كما في الشكل ٧ ـ ٢٧.



شكل ٧ ـ ٢٥ توقيع المرحل C على الخريطة شكل ٧ ـ ٢٤



شكل ٧ ـ ٢٦ توقيع المرحل D على الخريطة شكل ٧ ـ ٢٥



شكل ٧ ـ ٢٧ توقيع منحنى انصهار المصهر E على الخريطة شكل ٧ ـ ٢٦
(خريطة التنسيق كاملة للشكل ٧ ـ ١٨)

رابعاً: دراسة عامة لخواص خريطة التنسيق.

بدراسة خريطة التنسيق ومقابلتها بمتطلبات الحماية المذكورة في أ، ب، جـ، د عند بداية دراسة الشبكة نجد أن ما تحقق من هذه الأهداف هو ما يلي:

١ ـ الكابل C1 له حماية رئيسية لتجاوز الحمل وحماية رئيسية لقصر الدائرة بأسرع وقت ممكن. وتتم هذه الحماية بواسطة القاطع A. إلا أن القاطع B لا يحقق حماية ثانوية كاملة للكابل C1 في منطقة تجاوز الحمل.

٢ ـ يحقق القاطع B حماية ثانوية للكابل C1 في مراحل تيارات القصر الخفيفة (جزء التأخير الزمني القصير) وكذلك في مراحل تيارات القصر العالية (الإعتاق الفوري).

٣ ـ يحقق القاطع B حماية تجاوز حمل وكذلك حماية قصر دائرة على الجانب الثانوي للمحول T2، والقاطعان A و B يعملان بتنسيق كامل حيث أن خصائصهما لا تتقاطع.

٤ ـ يحقق قاطع المرحل C حماية على الجانب الابتدائي للمحول T2 تتناسق تماماً مع الحماية على الجانب الثانوي له (القاطع B)، كما تحقق شرط نقطة ANSI ونقطة التيار المندفع للمحول T2. إلا أن المرحل C لا يقوم بأي حماية لتجاوز الحمل. وهذا الوضع مقبول تماماً حيث يزود المحول عادة بأجهزة متعددة لتجاوز الحمل كما سبق توضيحه في الباب السادس.

٥ ـ تم اختيار المرحل D بخاصية تعاكسية وإعتاق فوري حتى يمكن أن يتناسق مع المصهر E الذي لا يمكن التحكم في خصائصه، وكذلك يمكن أن يتناسق مع المرحل C.

٦ ـ المصهر E يحقق شرط نقطة ANSI ونقطة التيار المندفع للمحول T1 ويتناسق تماماً مع المرحل D.

بهذه الطريقة نكون قد حققنا معظم أهداف الحماية. وأخيراً نشير إلى ما يأتي:

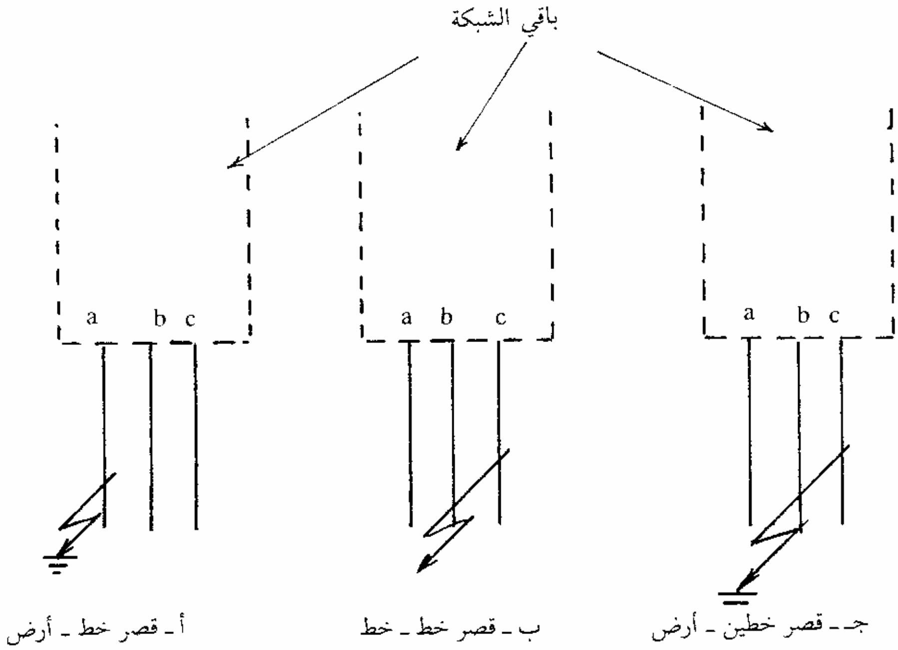
أولاً : كان من الممكن الحصول على خطة تنسيق حماية أفضل من التي نفذناها، وإنما اخترنا هذه الخطة لمجرد التوضيح.

ثانياً : يتيح استخدام أجهزة حماية كهروستاتيكية ضغط الهوامش الزمنية بين منحنيات أجهزة الحماية مما ينتج عنه حماية أسرع. وفي تلك الحال يمكن استعمال المصهر E بمقنن ٨٠ أمبير بدلاً من ١٠٠ أمبير مما يحقق حماية أفضل لقصر الدائرة الشديد.

ثالثاً : إن إجراء عملية التنسيق تحتاج إلى دقة وصبر كما ذكرنا من قبل. ولا يمكن الحصول على الخطة الكاملة من أول محاولة، وربما يحتاج الأمر إلى عدة محاولات فاشلة قبل التوصل إلى الوضع المقبول.

حسابات القصر غير المتماثل باستخدام نظرية المركبات المتماثلة

يبين الشكل أ ـ ١ الأنواع المختلفة من قصر الدائرة التي تتسبب في عدم تماثل الشبكة. يتم حل جميع أنواع القصر غير المتماثل باستخدام نظرية المركبات المتماثلة Symmetrical Components التي تنص على ما يأتي:



شكل أ ـ ١ أنواع القصر غير المتماثل

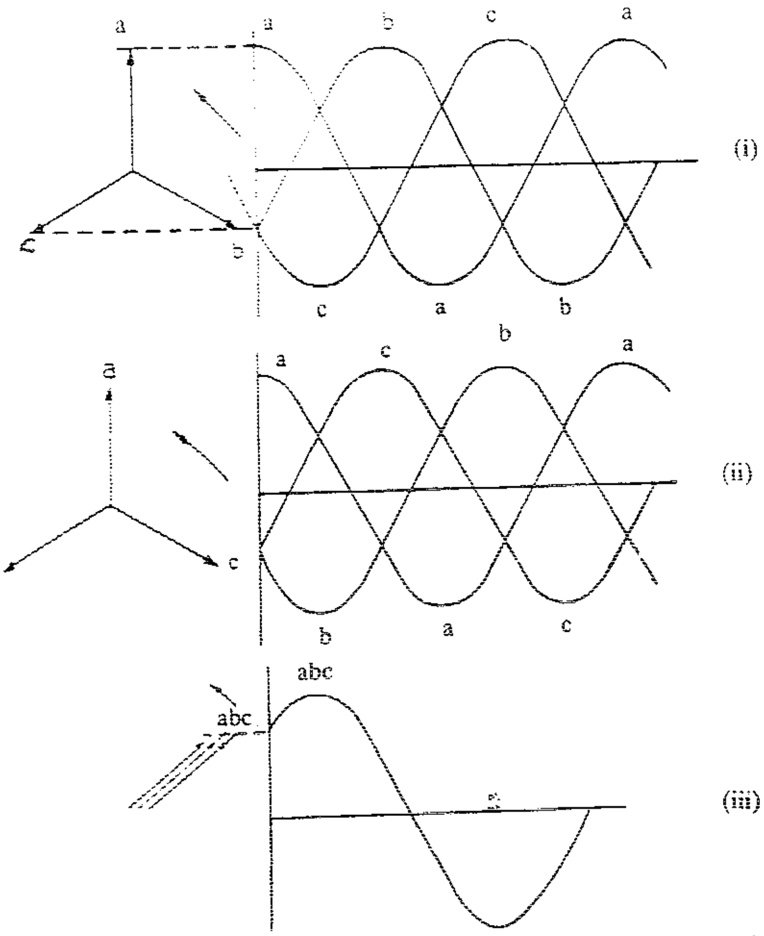
يمكن تحليل أي دائرة ثلاثية الأطوار غير متماثلة إلى ثلاث دوائر متماثلة كل منها ثلاثية الأطوار. هذه الدوائر هي :

أ ـ دائرة التتابع الموجب Positive sequence network .

ب ـ دائرة التتابع السالب Negative sequence network .

جـ ـ دائرة التتابع الصفري Zero sequence network .

وكل دائرة من الدوائر الثلاث مستقلة تماماً عن الدائرتين الأخريتين. يبين الشكل أ ـ ٢ متجهات الأطوار الثلاثة لكل دائرة، ويعطي الشكل أ ـ ٣ شرحاً



(i) التتابع الموجب
(ii) التتابع السالب
(iii) التتابع الصفري

شكل أ ـ ٢ جهود التتابع

بيانياً لتطبيق النظرية. تحتوي دائرة التتابع الموجب على جهود وتيارات التتابع الموجب وكذلك لدائرتي التتابع السالب والتتابع الصفري. معنى هذا أن كل جهاز في الشبكة تكون له ثلاث معاوقات.

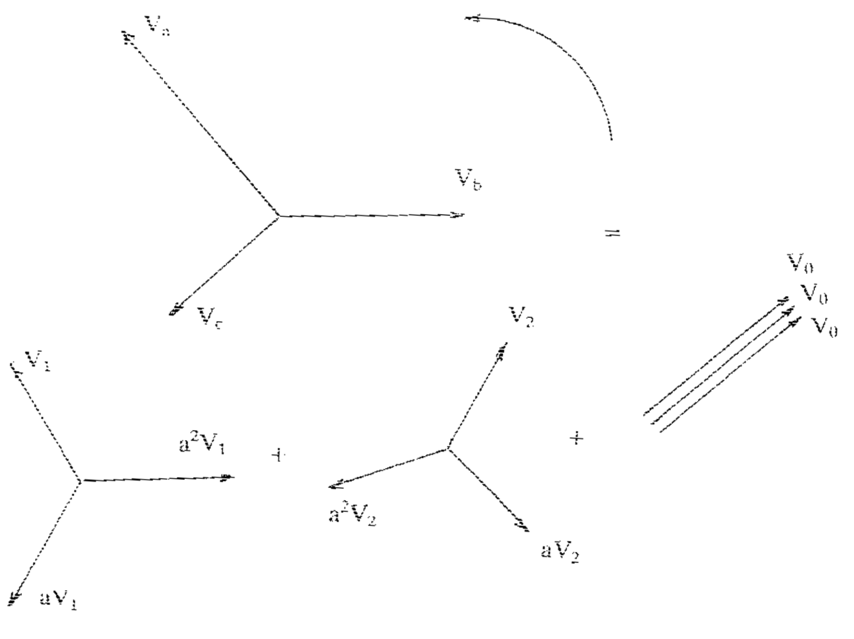
أ ـ معاوقة التتابع الموجب z_1.

ب ـ معاوقة التتابع السالب z_2.

جـ ـ معاوقة التتابع الصفري z_0.

ويمكن الحصول على هذه المعاوقات من صانعي الأجهزة. أما بالنسبة للكابلات فإن مفاعلة التتابع السالب تساوي مفاعلة التتابع الموجب. ويتم الحصول على مفاعلة التتابع الصفري من المعادلة الآتية:

$$X_0 = 2\pi f 10^{-3} (0.2 \ln \frac{D}{d} + K) \text{ Ohm/km} \quad \text{(أ ـ ١)}$$



شكل أ ـ ٣ نظرية المركبات المتماثلة

حيث:

X_0: مفاعلة التتابع الصفري.

f: التردد.

D: القطر المتوسط للغلاف المعدني (مم).

d: قطر الموصل (مم).

k: ثابت يعتمد على تكوين الموصل ونحصل عليه من الجدول أ ـ ١.

تعتمد قيمة مفاعلة التتابع الصفري في المحولات على شكل الدائرة المكافئة للمحول في دائرة التتابع الصفري. ويعطي الجدولان أ ـ ٢ و أ ـ ٣ الدوائر المكافئة المناظرة لتوصيلات المحول المختلفة.

يتم حساب قصر الدائرة (التيارات والجهود وغيرها) تبعاً للخطوات الآتية بالترتيب.

جدول أ ـ ١ قيم الثاتب K في المعادلة أ ـ ١

عدد أسلاك الموصل	K
٣	٠,٠٧٧٨
٧	٠,٠٦٤٢
١٩	٠,٠٥٥٤
٣٧	٠,٠٥٢٨
٦١ أو أكثر	٠,٠٥١٤

١ ـ عين المعاوقة المكافئة بين مصدر الجهد ونقطة القصر لدوائر التتابع الموجب والسالب والصفري (z_1، z_2، z_0).

٢ ـ عين الدائرة المكافئة لنوع القصر من الأشكال أ ـ ٤، أ ـ ٥، أ ـ ٦.

٣ ـ احسب من الخطوة ٢ مركبات التيارات التتابعية (I_1، I_2، I_0) خلال دوائر التتابع.

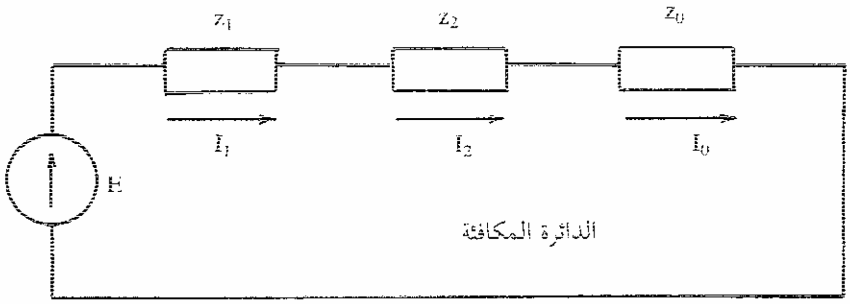
٤ ـ احسب تيار القصر الحقيقي من الخطوة ٣ باستخدام المعادلات الآتية:

$I_a = I_0 + I_1 + I_2$ ....(أ - ٢)

$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$ ....(أ - ٣)

$I_c = I_0 + a\, I_1 + a^2 I_2$ ....(أ - ٤)

حيث a مؤثر يعطى بالعلاقة $a = 120°$



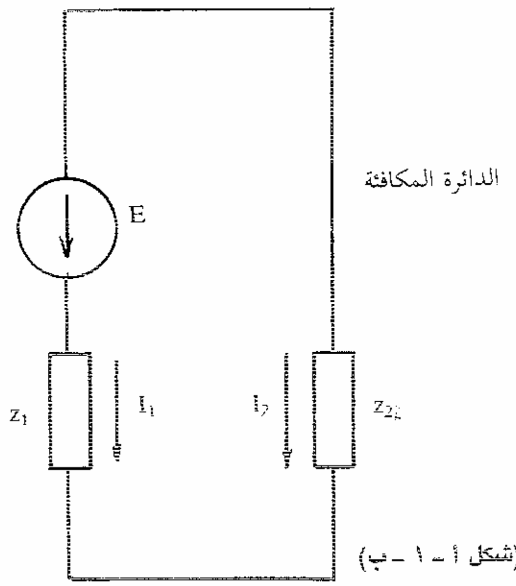
$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E}{z_1 + z_2 + z_0}$$

$$I_a = 3I_1 = \frac{3E}{z_1 + z_2 + z_0}$$

$I_b = 0$

$I_c = 0$

شكل أ - ٤ تيارات القصر خط - أرض (شكل أ - ١ - أ)



$$I_1 = \frac{E}{z_1 + z_2}$$

$I_2 = - I_1$

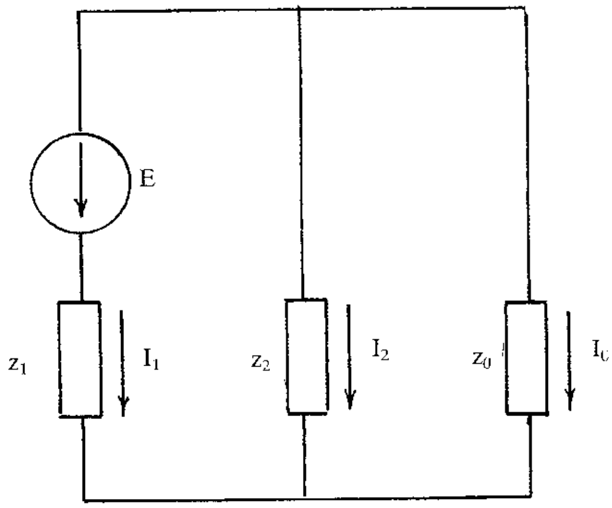
$I_0 = 0$

$I_b = - j\sqrt{3}\, I_1$

$I_c = j\sqrt{3}\, I_1$

$I_a = 0$

شكل أ - ٥ تيارات القصر خط - خط (شكل أ - ١ - ب)



الدائرة المكافئة

$$I_1 = \frac{E}{z_1 + (z_2 z_0 / z_2 + z_0)}$$

$$I_2 = -\, I_1 (z_0 / z_2 + z_0)$$

$$I_0 = -\, I_1 (z_2 / z_2 + z_0)$$

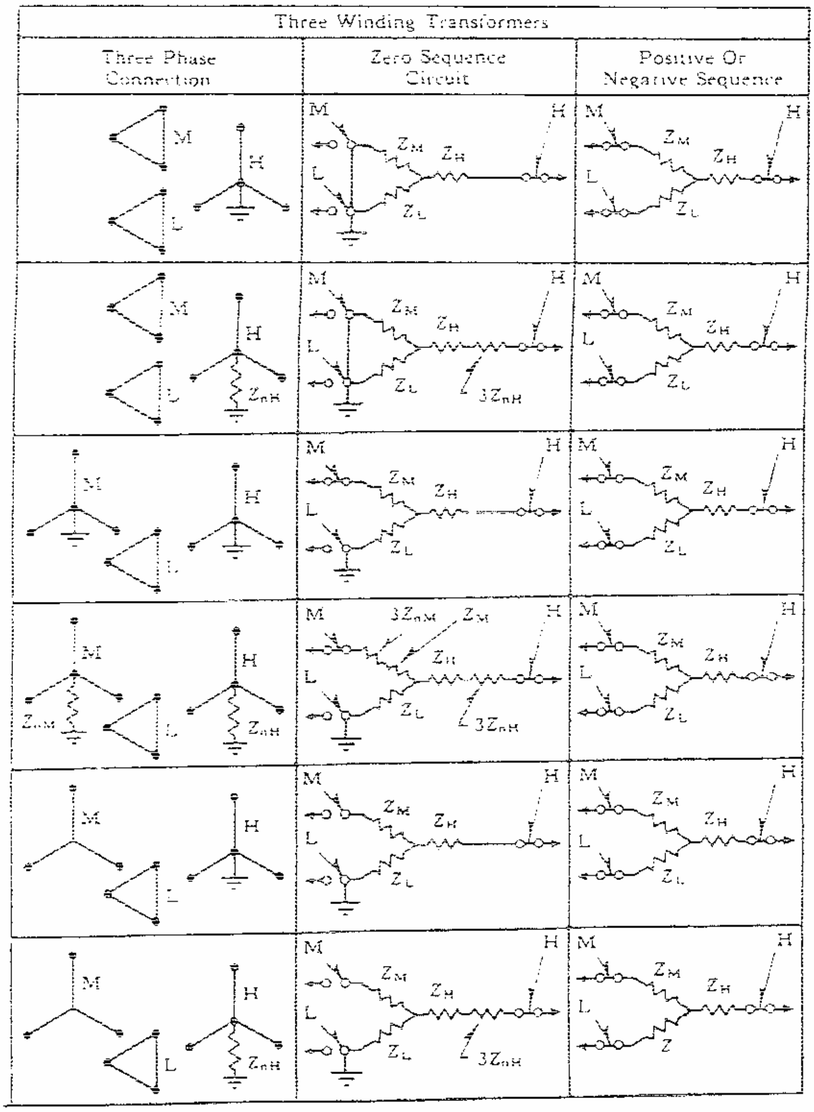
$$I_b = I_1 \left(a^2 - \frac{z_2 + a z_0}{z_2 + z_0} \right)$$

$$I_c = I_1 \left(a - \frac{z_2 + a^2 z_0}{z_2 + z_0} \right)$$

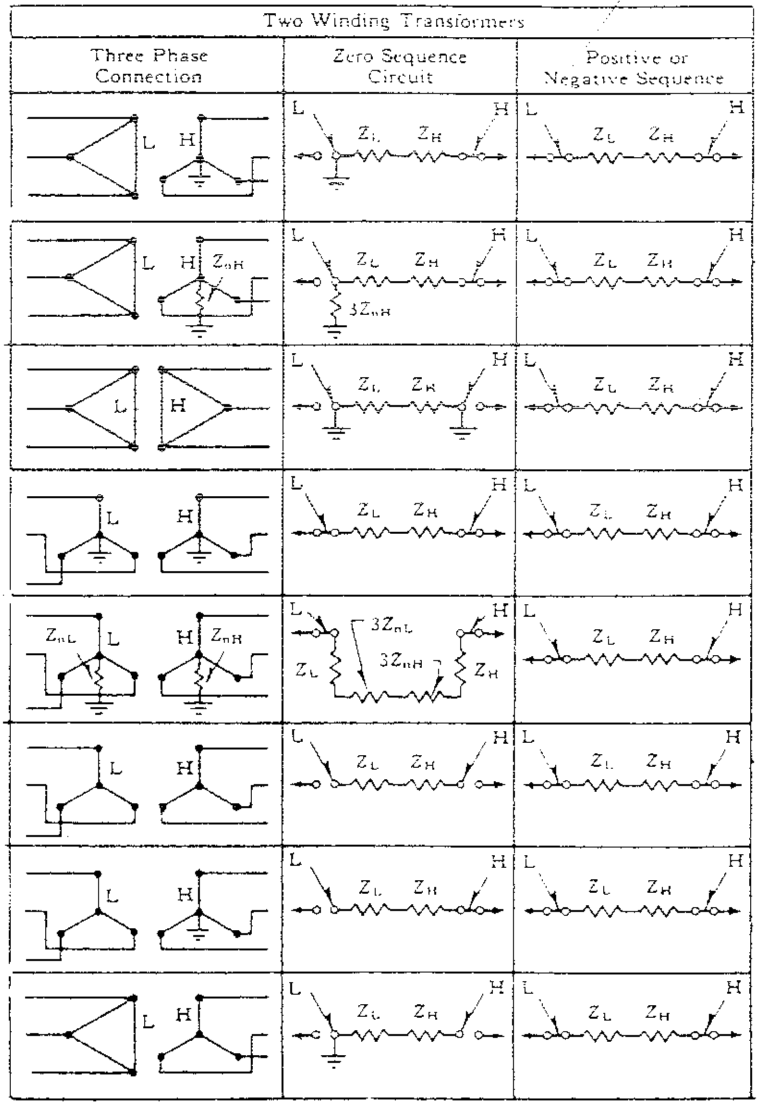
$$I_a = 0$$

شكل أ ـ ٦ تيارات القصر خطين ـ أرض شكل أ ـ ١ ـ جـ)

جدول أ ـ ٢ مفاعلة التتابع الصفري للمحولات ذات الملفين



جدول أ ـ ٣ مفاعلة التتابع الصفري للمحولات ذات الثلاثة ملفات



المواصفات العالمية ومراكز الاختبارات

COUNTRY & MARK	STANDARD AGENCY SYMBOL	STANDARDS AGENCY	TEST AGENCY SYMBOL	TESTING AND/OR CERTIFICATION AGENCY
ARGENTINA		IRAM Instituto Argentino de Racionalización de Materiales Chile 1192, C. Postal 1098 Buenos Aires, ARGENTINA Telephone: (54) 1 37 37 51		INTI Instituto Nacional de Tecnologia Industrial LN Alem No. 1067 1001 Buenos Aires ARGENTINA Telex. 21859 INTI AR
AUSTRALIA		SAA — Standards Association of Australia 80 Arthur Street North Sydney, NSW 2060, AUSTRALIA Telephone. (61) 2 963 4111 FAX: (61) 2 959 3896 Telex: 99-26514		SECV — State Electrical Commis. of Victoria 15 William Street Melbourne Victoria 3000, AUSTRALIA Telephone: (61) 3 392 2253 Telex. 31152 Sydney County Council Test. Labs 14 Nelson Street Chatswood, New South Wales, AUSTRALIA Telephone: (61) 02 410511 Telex: 22810 EANSW — Energy Authority of New South Wales 1 Castlereagh Street Box 485 GPO Sydney, NSW 2001, AUSTRALIA Telephone: 61 2 234 4444 FAX. 61 2 221 6229 Telex: NSWEA AA170320 ETSA — Electricity Trust of South Australia 26-56 Burbridge Road Mile End, SA 5031, AUSTRALIA Telephone: (61) 08 352 0719 Telex. 88655 SECQ — State Electricity Commission of Queensland GPO Box 10 Brisbane QLD 4001, AUSTRALIA SECWA — State Energy Commission of Western Australia GPO Box L921 Perth WA 6001 AUSTRALIA Telephone. (61) 09 277 2465 Telex: 9267= HEC — Hydro-Electricity Commision of Tasmania
AUSTRIA	OVE	OVE — Osterreichischer Verband Für Elektrotechnik Eschenbachgasse 9 A-1010 Wien, AUSTRIA Telephone. (43) 222 587 6373 Telex: 32 22 603 OEVE		
BELGIUM		CEB — Comité Electrotechnique Belge B Brussels BELGIUM Telephone: (32) 2 512 0026 FAX: (32) 2 511 2938	CEBEC	CEBEC — Comité Electrotechnique Belge Service Rodestraat 125 B-1630 Linkebeek Bruxelles, BELGIUM Telephone. (32) 2 380 8520 FAX: (32) 2 380 6133 Telex: 52834 CEBEC B
BRAZIL	ABNT	ABNT — Associação Brasileira de Normas Tecnicas Rua Marquês de ITU 88-4° Andar 01223 São Paulo-SP, BRAZIL Telephone: (55) 11 35 94 33 FAX. None Telex: 112 1452 CELB BR		SINMETRO — National System of Metrology Standardization and Industrial Quality
BULGARIA		State Comm./Science & Tech. Prog. Standards Office 21, 6th September St Sofia 1000 BULGARIA Telephone: 85 91 Telex: 22570 DKS BG		
CANADA	SP	CSA — Canadian Standards Association 178 Rexdale Blvd Rexdale, Ontario M9W 1R3, CANADA Telephone: (416) 747 4000 FAX: (416) 747 2475 Telex: 06-989344		

COUNTRY	STANDARD AGENCY SYMBOL	STANDARDS AGENCY	TEST AGENCY SYMBOL	TESTING AND/OR CERTIFICATION AGENCY
CHINA, PEOPLE'S REPUBLIC OF		CSBS China State Bureau for Standardization P. O. Box 820 Beijing PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA Telegrams: 0621 Beijing		
CZECHOSLOVAKIA		Urad pro Normalizacia Mereni (Office for Standards and Measurements) Vaclavské nam 19 113 47 Praha 1 CZECHOSLOVAKIA Telephone: (42) 2 26 22 51 FAX: (42) 2 265 795 Telex: 12948 UNM	ESC	Elektrotechnicky zkusebni ustav Post Office 71 CS-171 02 Praha 8-Troja CZECHOSLOVAKIA Telegrams: ELEZUM Praha Telephone: (42) 2 840 641-9 Telex: 122880 EZU C
DENMARK		DEK Dansk Elektroteknisk Komite (Danish Electrotechnical Committee) Strandgade 36 DK-1401 Copenhagen K DENMARK Attn: DANELKOMITE Telephone: (01) 57 50 50 Telex: FOTEX DK 16600 Fax: 011-45-1576350	D	DEMKO Postbox 514 DK-2730 Herlev DENMARK Telephone: (45) 42 94 72 66 FAX: (45) 42 94 7261 Telex: 35125 DEMKO DK
EGYPT	EOS	EOS — Egyptian Organization for Standardization & Quality Control 2 Latin America St Garden City, Cairo EGYPT Telephone: (20) 29720 Telex: 93296 EOS UN		
FINLAND	FI	SETI — Electrical Inspectorate Sarkiniementie 3 P.O. Box 21 SF-00210 Helsinki 21 FINLAND Telephone: (358) 0-69631 FAX: (358) 0-69254 74 Telex: 122877 SETI SF		
FRANCE		UTE — Union Technique de l'Electricite Cedex 64 F-92052 Paris la Defense FRANCE Telephone: (33) 1 4723 7257 FAX: (33) 1 4723 6860 Telex: CEFUTE 620816 F		Laboratoire Central des Industries electriques (LCIE) 33, Avenue du General Leclerc B.P. 8 F-92260 Fontenay aux-Roses FRANCE Telephone: (33) 1 40 95 60 60 Telex: LABEL EC 250080 F FAX: (33) 1 40 95 60 95
GERMANY		DKE Deutsche Electrotechnische Kommission im DIN und VDE (German Electrotechnical Commission of DIN and VDE) Stresemannallee 15 D-6000 Frankfurt 70 GERMANY Telephone: (49) 69 6308 0 FAX: (49) 69 6308 273 Telex: 4-12871	VDE	VDE VDE-Prüfstelle Merianstrasse 28 D-6050 Offenbach am Main FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY Telephone: (49) 69 8306 1 FAX: (49) 69 8306 555 Telex: 4152795 VDEP D TUV — Technischer Uberwachungs-Verein Albionstrasse 56 D-1000 Berlin FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY Telephone: (49) 30 75 3021 Telex: 1 84 517 TUV Rheinland 111 Deerwood Place Suite 160 San Ramon, CA 94583 U.S.A. Telephone: (415) 820-8444 FAX: (415) 820-8467

COUNTRY	STANDARD AGENCY SYMBOL	STANDARDS AGENCY	TEST AGENCY SYMBOL	TESTING AND/OR CERTIFICATION AGENCY
				TUV Rheinland of North America 108 Mill Plain Road Danbury, CT 06811, U.S.A. Telephone: (203) 798-0811 FAX: (203) 798-0694 Telex: 4990573 TUV America, Inc. 1416 NW 9th Street Corvallis, OR 97330 Telephone: (503) 753-4438 & (503) 753-4439 FAX: (503) 753-4510
GREECE		ELOT — The Hellenic Organiz. of Standardization Didotou 15 GR-106 80 Athens, GREECE Telephone: (30) 1 360 9517 FAX: (30) 1 364 4560 Telegrams: ELOTYP Telex: 219621 ELOT GR		
HONG KONG		Hong Kong Standards & Testing Centre 10 Dai Wang St Taipo Industrial Estate Taipo, N.T., HONG KONG Telephone: (852) 0-6530021 Facsimile: (852) 0-6534333 Telex: 84652 HKIND HX		
HUNGARY		MSZH Magyar Szabvanyugi Hivatal (Hungarian Office for Standardization) Pf.24 H-1450 Budapest 9 HUNGARY Telephone: (36) 183-011 Telex: 225723 NORM h		MEEI Magyar Elektrotechnikai Ellenorzo Intezet (Hungarian Institute for Testing Electrical Equipment) Vaci ut 48/a-b Pf. 441 H-1395 Budapest XIII, HUNGARY Telephone: (36) 1 490-561 Telegrams: TESTHUNGARIA Telex: 224931 MEEI H
ICELAND		Rafmagnseftirlit Rikisins (Electrical Inspection Agency) P. O. Box 8740 IS-128 Reykjavik ICELAND Telephone: (354) 1-84133 FAX: (354) 1-689256		
INDIA		BIS-Bureau of Indian Standards "Manak Bhavan" 9 Bahadur Shah Zafar Marg New Delhi 110002 INDIA Telephone: (91) 11 266021/270131 Telex: 031-3970 ISI/ND		
INDONESIA		Badan Kerjasama Standardisasi LIPI-YDNI (LIPI-YDNI Joint Standardization Committee) Jalan Teuku Chiek Ditiro 43 P. O. Box 250 Jakarta INDONESIA Telephone: (62) 351658		
IRAN		Institute of Standards and Industrial Research of Iran P. O. Box 2937, Tehran IRAN Telephone: (98) 2221 6031-8		
IRELAND		NSAI — Nat. Standards Authority of Ireland Glasnevin Ballymun Road IRL-Dublin 9 IRELAND Telephone: (353) 1 370 101 FAX: (353) 1 369 821 Telex: 32502 OLASEI		NETH—National Electrical Test House Ballymun Road IRL—Dublin 9, IRELAND Telephone: (353) 1 370 101 FAX: (353) 1 379 620 Telex: 32502 OLASEI

COUNTRY	STANDARD AGENCY SYMBOL	STANDARDS AGENCY	TEST AGENCY SYMBOL	TESTING AND/OR CERTIFICATION AGENCY
SPAIN		IRANOR Instituto Nacional de Racionalizacion y Normalizacion Zurbano 46 Madrid 10 SPAIN Telephone (34) 410 46 76 Telex 46545 UNOR E		AEE Asociacion Electrotecnica y Electronica Española Avda. de Brasil 7 E-28020 Madrid SPAIN Telephone: (34) 1 456 7664 FAX (34) 1 270 4972 Telex. 27626 UNESA E
SWEDEN		SEK Svenska Elektriska Kommissionen (Swedish Electrotechnical Commission) Box 5177 S-10244 Stockholm, SWEDEN Telephone (46) 8 23 3195 Telex 17109 EI NORM S		SEMKO — Svenska Elektriska Materielkontrollanstalten AB (Swedish Institute for Testing & Approval of Electrical Equip.) Box 1102 S-16422 Kista Stockholm, SWEDEN Telephone. (46) 8 750 0000 FAX. (46) 8 750 6030 Telex: 8126010 SEMKO S
SWITZERLAND		SEV — Schweizerischer Elektrotechnischer Verein Postfach CH-8034 Zurich, SWITZERLAND (for parcels: Seefeldstrasse 301, CH-8008 Zürich) Telephone: (41) 1 384 9111 FAX. (41) 1 551426 Telex: 56047 SEVCh		
TAIWAN		BCIQ — Bureau of Commodity Inspection and Quarantine Ministry of Economic Affairs, Republic of China 4, Section 1, Chinan Road Taipei, TAIWAN ROC Telephone. (886) 2 351-2141 FAX (886) 2 393-2324 Telex. 27247 BCIQ		
UNITED KINGDOM		BSI British Standards Institution 2 Park Street London W1A 2BS, ENGLAND Telephone. (44) 01 629 9000 Telex 266933 (BSILON G) FAX 0908 320856		BSI — British Standards Institution Cert. & Assessment Dept P.O. Box 375 Milton Keynes MK14 6LL ENGLAND Telephone: (44) 908 315555 FAX: (44) 908 320856 Telex 82424 BSI HHC G
			BEAB	BEAB — British Electrotechnical Approvals Board Mark House/The Green 9/11 Queen's Road Hersham Walton-on Thames GB-Surrey KT12 5NA, ENGLAND Telephone: (44) 932 24 44 01 FAX: (44) 932 22 66 03 Telex 8612027 BEAB G
				BASEC — British Approvals Service for Electric Cables P.O. Box 390 Milton Keynes GM-MK14 6LN, ENGLAND Telephone. (44) 908 31 55 55 Telex. 82682 BSIQAS G FAX (44) 908 32 08 56
				BASEEFA — British Approval Services/Electronic Equipment for Flammable Atmosphere Health & Safety Executive Harpur Hill Buxton, Derbyshire, ENG Telephone 0298 (Std Code 6211)
			ASTA	ASTA — Assoc. of Short Circuit Testing Authorities, Inc 23/24 Market Place Rugby CV21 3DU ENGLAND
UNITED STATES OF AMERICA		ANSI — American National Standards Institute 1430 Broadway New York NY 10017 Telephone (212) 354-3300		ARL — Applied Res. Labs of Florida 5371 N.W. 161 Street Miami FL 33014 Telephone. (305) 624-4800 FAX: (305) 624-3662
		NEMA — National Electrical Manufacturers Association 2101 L Street N.W. Suite 300 Washington D.C. 20037 Telephone: (202) 457-8400 FAX: (202) 457-8463 Telex. 904077		DS&G — Dash, Straus & Goodhue 593 Massachusetts Ave Boxborough MA 01719 Telephone. (508) 263-2662 FAX. (508) 263-7086 Telex 317-632-DASH

COUNTRY	STANDARD AGENCY SYMBOL	STANDARDS AGENCY	TEST AGENCY SYMBOL	TESTING AND/OR CERTIFICATION AGENCY
		NFPA National Fire Protection Agency 1 Battery March Park Quincy, MA. 02269		ETL — ETL Testing Labs. Inc Industrial Park Cortland, NY 13045 Telephone: (607) 753-6711 — ALSO (800) 354-3851 FAX. (607) 756-9891 Other ETL offices 660 Forbes Blvd So. San Francisco, CA 94084 Telephone (415) 871-1414 FAX (415) 873-7357 5855-P Oakbrook Parkway Norcross, GA 30093 Telephone. (404) 446-7294 FAX (404) 446-7025 Factory Mutual Insurance Co 1151 Boston-Providence Hwy Norwood, MA 02062 Telephone: (617)769-7900 Telex: 92-4415 MET — MET Electrical Testing Co 916 W Patapsco Avenue Baltimore, MD 21230 Telephone. (301) 354-2200 FAX: (301) 354 1624
			UL	UL — Underwriters Laboratories, Inc 1285 Walt Whitman Road Melville, L.I., NY 11747 Telephone. (516) 271-6200 FAX: (516) 271-8259 Telex: 6852015 Other UL offices 1655 Scott Blvd Santa Clara CA 95050 Telephone (408) 985-2400 FAX: (408) 296-3256 Telex: 470607 333 Pfingsten Road Northbrook IL 60062 Telephone. (708) 272-8800 FAX (708) 272-8125 Telex: 6502543343 12 Laboratory Drive P. O. Box 13995 Research Triangle Park, NC 27709 Telephone: (919) 549-1400 FAX: (919) 549-1842 Telex. 4937928
U.S.S.R.	СССР	GOSSTANDART — USSR State Committee for Standards Leninsky Prospekt 9 117049 Moscow M-49, USSR Telephone: (7) 95 236 40 44 Telex: 411378 GOST SU		
VENEZUELA		CODELECTRA en Conjunto con COVENIN Avda Ppal Las Mercedes-Edf. Centro Victoria-Piso 1 Caracas 1050 VENEZUELA Telephone. (58) 91 99 06		COVENIN - Ppal Comis Venezolana de Normas Industriales Av Boyaca (COTA MIL) Edf Fundacion La Salle, 5° Piso Caracas 105 VENEZUELA
YUGOSLAVIA		Federal Instit. for Standardization Slobodana Penezica Kreuna 35, 11000 Beograd, YUGOSLAVIA Telephone: (38) 11 644-066 Telex. 12089 YU JUS		

الجداول الآتية تعطي قدرة حمل التيار للكابلات تبعاً للمواصفة (IEC - 287) تحت ظروف التشغيل الآتية فيما بعد. ويلزم استخدام معاملات التقنين المناسبة لظروف التشغيل المختلفة:

- درجة حرارة الهواء: ٢٥°م.
- درجة حرارة التربة: ١٥°م.
- المقاومية الحرارية للتربة: ١,٢ كلفن متر/وات.
- عمق الدفن: للجهد حتى ١٠٠ ڤولت = ١/٢ متر وللجهود الأعلى ٠,٨ متر.
- الدائرة المجاورة: على بعد ١,٨ متر على الأقل.
- أقصى درجة حرارة للموصل:
  - أ - لكابلات PVC = ٧٠°م
  - ب - لكابلات XLPE = ٩٠°م

جدول جـ - ١ كابل PVC مسلح جهد ٦٠٠/١٠٠٠ ڤولت

Conductor size (mm^2)	In air				In ground			
	Single-core*				Single-core*			
	Trefoil (A)	Flat (A)	2-core (A)	3- or 4-core (A)	Trefoil (A)	Flat (A)	2-core (A)	3- or 4-core (A)
Copper conductors								
16			102	87			119	101
25			136	116			158	132
35			166	142			190	159
50	193	223	201	172	203	211	225	188
70	243	279	252	218	248	257	277	233
95	298	339	312	266	297	305	332	279
120	347	386	360	310	337	341	377	317
150	395	433	409	355	376	377	422	355
185	452	486	473	407	423	417	478	401
240	532	555	558	480	485	469	551	462
300	607	618	636	547	542	515	616	517
400	690	666	725	627	600	549	693	580
500	776	718			660	586		
630	869	778			721	627		
800	937	819			756	648		
1000	1010	873			797	679		
Aluminium conductors								
16			77	65			91	77
25			98	85			118	100
35			120	104			142	120
50	141	164	145	128	154	160	165	143
70	177	207	185	161	188	197	209	176
95	218	254	227	200	226	235	250	213
120	254	293		232	257	267		243
150	289	333		264	288	298		272
185	337	376		306	326	332		309
240	399	441		366	377	380		360
300	458	498		421	424	423		407
380†	529	547			475	457		
480†	605	606			532	501		
600†	678	660			586	540		
740†	765	719			648	582		
960†	854	763			701	608		
1200†	940	819			755	644		

*single-core cables with aluminium wire armour
†solid sectoral aluminium conductors

جدول جـ ـ ۲ کابل PVC مسلح جهد ۱,۹/۳,۳ ک.ف

Conductor size (mm²)	In air: Single-core* Trefoil (A)	In air: Single-core* Flat (A)	In air: 3-core (A)	In ground: Single core* Trefoil (A)	In ground: Single core* Flat (A)	In ground: 3-core (A)
Copper conductors						
16			90			91
25			118			120
35			143			151
50	195	223	173	193	199	178
70	244	278	217	236	242	219
95	302	337	266	282	281	264
120	348	384	308	315	320	299
150	395	431	351	357	354	336
185	453	486	403	401	393	379
240	532	555	474	459	441	436
300	607	615	540	513	483	488
400	690	666	620	566	513	548
500	776	718		621	546	
630	869	778		678	582	
800	937	819		708	599	
1000	1010	873		744	626	
Aluminium conductors						
16			68			74
25			89			97
35			108			114
50	143	165	130	147	152	136
70	180	207	164	180	186	168
95	221	254	201	211	212	201
120	254	292	233	244	241	230
150	290	332	265	273	251	257
185	337	377	305	309	313	292
240	394	446	361	357	358	338
300	459	497	417	402	391	381
380†	529	541		450	429	
480†	605	606		503	469	
600†	678	660		553	504	
740†	765	719		610	541	
960†	854	763		658	564	
1200†	940	815		707	594	

*single-core cables with aluminium wire armour
†solid sectoral aluminium conductors

تم بحمدالله